



Tugas Akhir - TL141584

**ANALISA PENGARUH VARIASI JENIS FLUKS  
(*DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME*) DALAM  
PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LIMONIT  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA  
MORFOLOGI AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN  
UMPAN *MINI BLAST FURNACE***

**MUHAMMAD RIFQI MAHENDRA PUTRA**  
NRP. 2713 100 147

Dosen pembimbing  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



**ANALISA PENGARUH VARIASI JENIS FLUKS  
(DOMOLIT, LIMESTONE, QUICKLIME) DALAM  
PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LIMONITE  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI  
AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN *MINI BLAST  
FURNACE***

**Nama** : Muhammad Rifqi Mahendra  
Putra  
**NRP** : 2713100147  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing I** : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

**Abstrak**

*Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfide. Akan tetapi sekarang ini produksi nikel menggunakan bijih nikel sulfida mulai menurun, dikarenakan jumlah ketersediaan bijih nikel sulfide di dunia hanya sebesar 30%. Meskipun demikian, produksi nikel dari bijih nikel sulfida sebesar 58%. Diprediksi kedepannya kebutuhan nikel dunia akan menggunakan bijih nikel laterit yang ketersediaannya hampir 70% di dunia.. Proses reduksi bijih nikel laterit dengan menggunakan mini blast furnace untuk mengolah nikel laterit dengan kadar rendah masih belum optimal. Sehingga perlu dilakukan optimalisasi dari proses reduksi dengan mini blast furnace.. Fluks berperan sebagai*

*pengikat pengotor pada proses reduksi serta menjaga tingkat basisitas slag agar proses pengolahan / smelting dapat berjalan dengan baik. Langkah prosesnya dimulai dari screening material hingga 50 mesh lalu diproses hingga menjadi bentuk briket dan di roasting kedalam muffle furnace hingga temperatur 1200°C. Setelah itu dilakukan pengujian SEM-EDX-XRD. Dengan harapan fungsi fluks dapat mempengaruhi kadar Ni-Fe, senyawa, morfologi, dan kekuatan briket. Berdasarkan hasil dari peningkatan kadar Ni sebesar 2,01%, penurunan kadar Fe sebesar 8,05%, sifat porositas dan permeabilitas, dan juga uji ketahanan briket terhadap benturan (Shatter Index) bahwa fluks yang paling baik adalah fluks limestone.*

**Kata Kunci : Nikel laterit limonit, aglomerasi, fluks, mini blast furnace.**



**FINAL PROJECT - TL141584**

# **ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATION FLUX (DOLOMITE, LIMESTONE, QUICKLIME) IN AGGLOMERATION PROCESS OF NICKEL LIMONITE TO Ni AND Fe CONTAIN AND THE MORPHOLOGY OF AGGLOMERATES AS FEED MATERIALS FOR MINI BLAST FURNACE**

Muhammad Rifqi Mahendra Putra  
NRP 2712 100 147

Advisor :

Sungging Pintowantoro, Ph.D

Fakhreza Abdul, S.T., M.T

Departement of Materials Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISA PENGARUH VARIASI JENIS FLUKS  
(DOLOMITE, LIMESTONE, DAN QUICKLIME) DALAM  
PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LATERIT  
LIMONIT TERHADAP KADAR NI DAN FE SERTA  
MORFOLOGI AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN  
MINI BLAST FURNACE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHAMMAD RIFQI MAHENDRA PUTRA**  
NRP. 2713 100 147

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sunggung Pintowantoro, Ph.D ..... (Pembimbing I)

Fakhreza Abdul, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



**ANALISA PENGARUH VARIASI JENIS FLUKS  
(DOMOLIT, LIMESTONE, QUICKLIME) DALAM  
PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LIMONITE  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI  
AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN MINI  
BLAST FURNACE**

**Nama** : Muhammad Rifqi Mahendra  
Putra  
**NRP** : 2713100147  
**Jurusan** : Departemen Teknik Material  
**Dosen Pembimbing I** : Sungging Pintowantoro., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Fakhreza Abdul S.T., M.T.

**Abstrak**

*Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfide. Akan tetapi sekarang ini produksi nikel menggunakan bijih nikel sulfida mulai menurun, dikarenakan jumlah ketersediaan bijih nikel sulfide di dunia hanya sebesar 30%. Meskipun demikian, produksi nikel dari bijih nikel sulfida sebesar 58%. Diprediksi kedepannya kebutuhan nikel dunia akan menggunakan bijih nikel laterit yang ketersediaannya hampir 70% di dunia.. Proses reduksi bijih nikel laterit dengan menggunakan mini blast furnace untuk mengolah nikel laterit dengan kadar rendah masih belum optimal. Sehingga perlu dilakukan optimalisasi dari proses reduksi dengan mini blast furnace.. Fluks berperan sebagai*



*pengikat pengotor pada proses reduksi serta menjaga tingkat basisitas slag agar proses pengolahan / smelting dapat berjalan dengan baik. Langkah prosesnya dimulai dari screening material hingga 50 mesh lalu diproses hingga menjadi bentuk briket dan di roasting kedalam muffle furnace hingga temperatur 1200°C. Setelah itu dilakukan pengujian SEM-EDX-XRD. Dengan harapan fungsi fluks dapat mempengaruhi kadar Ni-Fe, senyawa, morfologi, dan kekuatan briket. Berdasarkan hasil dari peningkatan kadar Ni sebesar 2,01%, penurunan kadar Fe sebesar 8,05%, sifat porositas dan permeabilitas, dan juga uji ketahanan briket terhadap benturan (Shatter Index) bahwa fluks yang paling baik adalah fluks limestone.*

**Kata Kunci : Nikel laterit limonit, aglomerasi, fluks, mini blast furnace.**

**ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATION OF FLUKS  
(DOMOLITE, LIMESTONE, AND QUICKLIME) IN  
AGGLOMERATE PROCESS OF NICKEL LIMONITE  
ORE ON Ni AND Fe CONTAIN AND AGLOMERATES  
MORPHOLOGY AS MINI BLAST FURNACE**

**Name : Muhamad Rifqi Mahendra Putra**  
**SRN : 2713 100 147**  
**Major : Material Engineering Departement**  
**Advisor : Sungging Pintowantoro, Ph.D**  
**Co-Advisor : Fakhreza Abdul, S.T., M.T**

**ABSTRACT**

*Nickel is one of the most important metals and has many applications in the industry. Nickel ores can be classified into two groups: sulfide ores and laterite ores (oxides and silicates). Although 70% of nickel mines come from laterite ore, 60% of nickel primary production comes from sulphide ore. Nickel production now using nickel sulphide ore starting to decline, the amount of nickel sulphide ore enough in the world is only 30%. However, nickel production from nickel sulphide ore is 58%. It is predicted that the world nickel demand will use nickel laterite ore almost 70% in the world. The process of reduction of laterite nickel ore by using mini blast furnace to process low grade nickel laterite is not yet optimal. It needs to be optimized from the reduction process with mini blast furnace. Flux acts as an impurity binder on the reduction process and keeps the basic level of slag for smelting process to run properly. Step process starts from screening material up to 50 mesh then shape and shape in muffle furnace until temperature 1200oC. After that done SEM-EDX-XRD test. In the hope that flux function can influence the level of Ni-Fe, compound, morphology, and briquette strength. Based on the result of the increase of Ni content by 2.01%, the decrease of Fe content equal*

*to 8,05%, the porosity and permeability properties, and also the Shatter Index is the best flux is the flux limestone.*

***Keywords : Nickel Laterite Limonite, Agglomeration, Flux, Mini Blast Furnace.***

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Batasan Masalah .....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	8

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nikel Laterit .....	9
2.2 Ekstraksi Nikel Laterit Limonit .....	11
2.3 Aglomerasi Nikel Laterit .....	14
2.4 Batubara .....	17
2.5 Dolomit .....	19
2.6 Limestone .....	20
2.7 Quicklime .....	22
2.8 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit .....	24
2.9 Kinetika Reduksi <i>Ore</i> .....	29
2.10 Kajian Peneitian Sebelumnya .....	31

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2 Bahan Penelitian .....	36

3.3	Peralatan Penelitian .....	41
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	45
3.5	Neraca Massa Briket Laterit Limonit.....	46
3.6	Pengujian Penelitian .....	49
3.7	Rancangan Penelitian .....	56
3.8	Jadwal Penelitian .....	57

## **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakterisasi Bijih Nikel Laterit .....	59
4.2	Karakteristik Batu Bara .....	60
4.3	Karakteristik Batu Kapur (Dolomit) .....	61
4.4	Karakteristik <i>Limestone</i> .....	63
4.5	Karakteristik <i>Quicklime</i> .....	65
4.6	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Komposisi Unsur pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	67
4.6.1	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	67
4.6.2	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	70
4.7	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Fasa dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	72
4.7.1	Analisa Hasil XRD Briket Tanpa Fluks .....	73
4.7.2	Analisa Hasil XRD Briket Fluks Dolomit .....	74
4.7.3	Analisa Hasil XRD Briket Limestone .....	76
4.7.4	Analisa Hasil XRD Briket Quicklime .....	77
4.8	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	78
4.9	Pengaruh <i>Shatter Index</i> Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	81

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	83
-----	------------------	----

5.2   Saran ..... 84

**DAFTAR PUSTAKA ..... xxi**

**LAMPIRAN**

**BIODATA PENULIS**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Profil Nikel Laterit .....	11
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Ekstraksi Nikel dan <i>FerroNickel</i> ..	13
<b>Gambar 2.3</b>	Bentuk Briket .....	15
<b>Gambar 2.4</b>	Batu Bara .....	18
<b>Gambar 2.5</b>	Batu Kapur .....	20
<b>Gambar 2.6</b>	Limestone .....	21
<b>Gambar 2.7</b>	Quicklime .....	24
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram Ellingham .....	26
<b>Gambar 2.9</b>	Garis Besar Mekanisme Reduksi untuk Mineral Berpori .....	30
<b>Gambar 2.10</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi ..	31
<b>Gambar 2.11</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi ..	32
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	36
<b>Gambar 3.2</b>	Bijih Nikel Laterit .....	37
<b>Gambar 3.3</b>	Batu Bara .....	37
<b>Gambar 3.4</b>	Batu Kapur .....	38
<b>Gambar 3.5</b>	Limestone .....	38
<b>Gambar 3.6</b>	Quicklime .....	39
<b>Gambar 3.7</b>	Natrium Sulfat .....	39
<b>Gambar 3.8</b>	Serbuk Kanji .....	40
<b>Gambar 3.9</b>	LPG .....	40
<b>Gambar 3.10</b>	Alat Kompaksi .....	41
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Muffle Furnace</i> .....	42
<b>Gambar 3.12</b>	Timbangan Digital .....	42
<b>Gambar 3.13</b>	Ayakan .....	43
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Thermocouple</i> .....	43
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Blower</i> .....	44
<b>Gambar 3.16</b>	Oven .....	445
<b>Gambar 3.17</b>	Alat Tumbuk .....	4



<b>Gambar 3.18</b>	XRD <i>PAN Analytical</i> .....	50
<b>Gambar 3.19</b>	SEM-EDX .....	50
<b>Gambar 3.20</b>	Pengujian Shatter Index .....	56
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit .....	59
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Dolomit .....	62
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Pengujian XRD <i>Limestone</i> .....	64
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil Pengujian XRD <i>Quicklime</i> .....	66
<b>Gambar 4.5</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi.....	68
<b>Gambar 4.6</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Fe dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	70
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Pengujian XRD Briket Hasil Proses Aglomerasi dengan Variasi Jenis Fluks .....	72
<b>Gambar 4.8</b>	Morfologi Perbesaran 90x Briket Hasil Aglomerasi dengan Fluks .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit .....	47
<b>Tabel 3.2</b>	Perbandingan Komposisi Briket .....	48
<b>Table 3.3</b>	Kadar Fe dan Ni pada Briket.....	49
<b>Tabel 3.4</b>	Rancangan Penelitian .....	56
<b>Tabel 3.2</b>	Jadwal Penelitian .....	57
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian EDX bijih nikel laterit limonit ..	60
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara ...	61
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian XRF Dolomit .....	63
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian EDX Limestone .....	65
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil Pengujian EDX Quicklime .....	67
<b>Tabel 4.6</b>	Identifikasi Fasa pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	73
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Pengujian Shatter Index .....	81

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lain-lain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai superalloy dan paduan nirbesi karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan tinggi suhu (Barkas J,2010)

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida (Superiadi, A.,2007)

Akan tetapi sekarang ini produksi nikel menggunakan bijih nikel sulfida mulai menurun, dikarenakan jumlah ketersediaan bijih nikel sulfida di dunia hanya sebesar 30%. Meskipun demikian, produksi nikel dari bijih nikel sulfida sebesar 58%. Diprediksi kedepannya kebutuhan nikel dunia akan menggunakan bijih nikel laterit yang ketersediaannya hampir 70% di dunia (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Produksi nikel dari bijih laterit telah terjadi selama lebih dari 100 tahun yang dimulai dengan pengolahan bijih *garnieritic* dari New Caledonia. Di masa lalu, sebagian besar produksi nikel berasal dari bijih sulfida. Namun, tingkat persediaan cadangan bijih nikel sulfida telah menipis. Selama sepuluh tahun kedepan produksi nikel dari bijih sulfida diperkirakan persediaannya di dunia akan semakin menipis. Sedangkan hampir 70 % dari sumber daya dunia yang berbasis



nikel adalah berupa laterit dan hanya 40% yang digunakan untuk produksi nikel. Jadi ada banyak endapan laterit yang belum dikembangkan di dunia yang memungkinkan eksploitasi laterit untuk memenuhi permintaan untuk nikel. Sehingga produksi nikel di masa depan diharapkan datang dari bijih laterit nikel. Di Indonesia, cadangan laterit nikel sebesar 15,7% dari jumlah cadangan laterit nikel di dunia. Jumlah tersebut menjadikan Indonesia memiliki jumlah cadangan laterit nikel terbanyak ketiga setelah *New Caledonia* (22,9%) dan Filipina (17,4%) (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Pemerintah Indonesia melarang ekspor mineral mentah (ore). Hasil mineral dari pertambangan di Indonesia harus diolah dan dimurnikan terlebih dahulu sebelum kemudian di ekspor keluar. Ini merupakan salah satu ketentuan yang diatur dalam UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Jika kita teliti lebih lanjut ketentuan ini merupakan tindak lanjut dari implementasi UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. Ada 2 Pasal yang menjadi sorotan dalam penerapan UU No. 4 Tahun 2009 ini, Pasal 103 ayat 1 dan Pasal 170. ( Undang-undang RI No.4 tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batu Bara)

Secara umum, mineral bijih di alam ini dibagi dalam 2 (dua) jenis yaitu mineral sulfida dan mineral oksida. Begitu pula dengan bijih nikel, ada sulfida dan ada oksida. Masing-masing mempunyai karakteristik sendiri dan cara pengolahannya pun juga tidak sama. Dalam bahasan kali ini akan dibatasi pengolahan bijih nikel dari mineral oksida (Laterit). Bijih nikel dari mineral oksida (Laterite) ada dua jenis yang umumnya ditemui yaitu Saprolit dan Limonit dengan berbagai variasi kadar. Perbedaan menonjol dari 2 jenis bijih ini adalah kandungan Fe (Besi) dan Mg (Magnesium), bijih saprolit



mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit sebaliknya. Bijih Saprolit dua dibagi dalam 2 jenis berdasarkan kadarnya yaitu HGSO (High Grade Saprolit Ore) dan LGSO (Low Grade Saprolit Ore), biasanya HGSO mempunyai kadar  $\text{Ni} \geq 2\%$  sedangkan LGSO mempunyai kadar Ni. (Andik Yudiarto, 2008)

Teknologi pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi 2 proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining / converting*). Hasil dari proses pirometalurgi biasanya berupa FeNi (*FerroNickel*) atau *Matte Smelting*. Pada proses hidrometalurgi terbagi lagi menjadi 2 proses yaitu *Caron Process* dan *HPAL Process*. *Caron Process* meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *amonical leaching*, dan *purification & recovery*. Hasil dari *caron process* berupa Ni dan Co. Sedangkan pada *HPAL Process* meliputi beberapa proses yaitu *high pressure leaching*, *CCD & Neutralization*, presipitasi, *purification & recovery*. Hasil dari *HPAL Process* juga berupa Ni dan Co (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Namun proses reduksi bijih nikel laterit dengan menggunakan *Mini Blast Furnace* untuk mengolah nikel laterit dengan kadar rendah masih belum optimal. Sehingga perlu dilakukan optimalisasi dari proses reduksi dengan *Mini Blast Furnace*. Salah satunya dengan cara *treatment* pada *feed material* yang akan masuk kedalam *Mini Blast Furnace* berupa proses aglomerasi. Salah satu *feed material* pada *mini blast furnace* adalah fluks. Fluks akan lebih baik ditambahkan saat proses persiapan material / *roasting* (aglomerasi) sebelum masuk ke dalam *Mini Blast Furnace*. Fluks berperan sebagai



pengikat pengotor pada proses reduksi serta menjaga tingkat basisitas slag agar proses pengolahan / smelting dapat berjalan dengan baik. Hasil dari produk aglomerasi dipengaruhi oleh jenis fluks. Jenis fluks yang optimal membuat proses aglomerasi berjalan dengan baik sehingga bijih nikel akan dapat diolah dengan baik di dalam *Mini Blast Furnace* sehingga akan didapatkan hasil yang optimal serta produktivitas akan meningkat. (Noviyanti, Jasruddin, & Sujiono, 2015)

Salah satu karakteristik dari *feed material* memiliki *strength* yang baik, sebagai ketahanan *feed material* terhadap degradasi selama transportasi dan *handling* setelah proses aglomerasi (Cundwell, 2011).

*Crushing strength* yang baik juga membuat produk aglomerat tidak mudah hancur saat dimasukkan ke dalam *Mini Blast Furnace* karena adanya impak, abrasi, kompresi, dan perubahan volume pada temperatur tinggi di *reducing atmosphere*. Apabila produk aglomerat hancur saat dimasukkan ke dalam *Mini Blast Furnace* dan menjadikan ukuran produk aglomerat menjadi lebih kecil dari 5 mm, akan membuat produk aglomerat keluar dari *Mini Blast Furnace* menuju *Top Gas* karena terdorong oleh udara yang ditiupkan dari bawah *Mini Blast Furnace* oleh *blower*. (Babich, et al. 2008)

Dengan didapatkannya jenis fluks yang optimal yang menjadikan proses aglomerasi berjalan dengan baik serta kemudian proses pengolahan dalam *Mini Blast Furnace* berjalan dengan optimal. Sehingga didapatkan suatu proses yang optimal untuk proses pengolahan nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit. Proses pengolahan yang optimal untuk nikel laterit khususnya limonit sangat penting dikarenakan hingga saat ini proses pengolahan dan pemurnian bijih nikel laterit di Indonesia lebih banyak dilakukan untuk



bijih saprolit meskipun keberadaan lapisan bijih limonit yang berada di atas lapisan bijih saprolit, yaitu untuk memproduksi ferronikel dan nikel matte, sementara bijih laterit yang berkadar nikel rendah yaitu limonit belum banyak dimanfaatkan. Sedangkan ketersediaan bijih berkadar tinggi yang semakin berkurang. Sehingga, bijih nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit berpotensi menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel di masa mendatang (Fathoni & Mubarak, 2015).

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian mengenai mekanisme reduksi *roasting* dari bijih nikel laterit dengan menggunakan beberapa jenis fluks maupun zat aditif. Fluks yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ , dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Pada penelitian yang menggunakan fluks berupa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya semula sebesar Ni 1,86% dan Fe 13,59% menjadi 10,83% Ni dengan tingkat *recovery* 82,15%. Pada penelitian yang menggunakan fluks berupa  $\text{CaSO}_4$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya semula sebesar Ni 1,42% dan Fe 23,16% menjadi 6% Ni dengan tingkat *recovery* 92,10%. Pada penelitian yang menggunakan zat aditif berupa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya sebesar Ni 1,91% dan Fe 22,10% menjadi 9,48% Ni dengan tingkat *recovery* 83,01% (Jiang, Sun, Liu, Kou, Liu, & Zhang, 2013).

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian mengenai mekanisme reduksi *roasting* dari bijih nikel laterit dengan menggunakan beberapa jenis fluks yaitu dolomite, cangkang kerang hijau, dan gypsum dan menggunakan zat aditif  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Pada penelitian menggunakan dolomite kadar Fe-Ni yang awalnya sebesar 22,1%-0,4% menjadi Fe-Ni 39,36%-0,46%. Lalu untuk penelitian menggunakan cangkang kerang





hijau kadar Fe-Ni yang awalnya sebesar 20,49%-0,37% menjadi Fe-Ni 26,38%-0,97% dan untuk penelitian menggunakan gypsum kadar Fe-Ni sebesar 16,01%-0,29% menjadi Fe-Ni 29,83%-0,51% serta adapula tanpa menggunakan fluks dari awal kadar Fe-Ni sebesar 37,61%-0,68% menjadi Fe-Ni 76,52%-2,56%. (Yoshitaka,2016)

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonite terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan ?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonite terhadap senyawa yang dihasilkan ?
3. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonite terhadap morfologi produk aglomerasi ?
4. Bagaimana pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonite terhadap ketahanan produk terhadap benturan?

## **1.3 Batasan Masalah**

Untuk menganalisis masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain :



1. Ore nikel yang digunakan adalah mineral laterit limonite dari Sulawesi Tenggara.
2. Jenis dan komposisi ore laterit, batu bara dan fluks (dolomite, limestone, dan quicklime) yang digunakan diasumsikan homogen.
3. Batu bara yang digunakan berupa jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan.
4. Tekanan kompaksi yang diberikan adalah homogen.
5. Kanji digunakan sebagai pengikat dan pengaruh dari reaksi kanji diabaikan.
6. Permeabilitas dan porositas diasumsikan homogen.
7. Energi panas yang digunakan pada proses roasting berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.
8. Temperatur dan waktu operasi roasting diasumsikan sama.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime yang digunakan pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan.
2. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime yang digunakan pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap senyawa yang dihasilkan.
3. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime yang digunakan pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap morfologi produk aglomerasi.



4. Menganalisa pengaruh variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap ketahanan produk terhadap benturan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi jenis fluks dolomite, limestone, dan quicklime) yang optimal untuk proses aglomerasi mineral laterit limonite yang berasal dari Sulawesi Tenggara pada proses *Mini Blast Furnace* (MBF).



---

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Nikel Laterit**

Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lainlain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai superalloy dan paduan non logam karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan tinggi suhu (Astuti, Zulhan, Shofi, Isnugroho, Nurjaman, & Prasetyo, 2012).

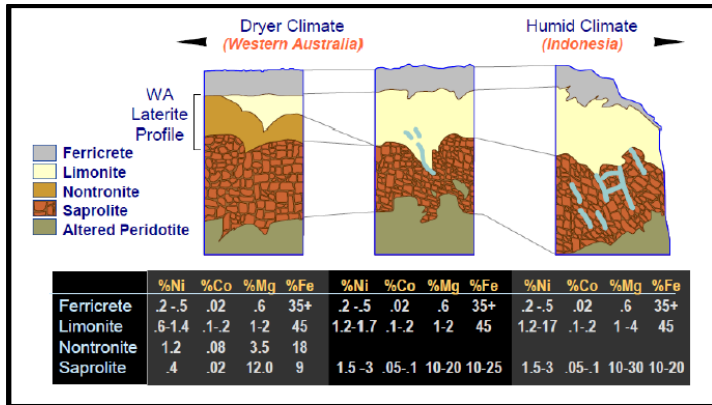
Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh gutit  $[\text{FeO}(\text{OH})]$  dan hematit  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ . Lapisan berikutnya adalah saprolit  $[(\text{Ni}, \text{Mg})\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Lapisan terakhir adalah batuan dasar yang berubah dan tidak berubah. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine  $[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})]$ . Untuk deposit laterit yang ideal, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya, sedangkan peningkatan kadar untuk lapisan saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel. Hal ini merupakan perbedaan utama antara bijih laterit dan bijih sulfida



yang dapat dibenefisiasi dari 10% menjadi 28% (Yildirim, Morcali, Turan, & Yucel, 2013)

Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Ada banyak alasan yang menjadikan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel, antara lain :

1. Ketersediaan : Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida.
2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit pada dasarnya yaitu berpindah-pindah yang bagaimanapun juga menjadikan biaya penambangannya lebih rendah.
3. Efek terhadap lingkungan : Produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.
4. Faktor teknologi : Ada cara yang dapat membuat proses produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999)



**Gambar 2.1** Profil Nikel Laterit (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

## 2.2 Ekstraksi Nikel Laterit Limonite

Pengolahan metalurgi dari nikel laterit Limonite dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pemilihan proses yang akan digunakan ini dipengaruhi oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, dan kebutuhan infrastruktur, seperti; pembangkit listrik, pelabuhan, infrastruktur jalan dan fasilitas pengolahan slag (Filipe Manuel R, 2013).

Beberapa proses ekstraksi nikel berbasis laterit diantaranya :

### 1. *Matte Smelting Process*

Proses ini terdiri dari beberapa langkah utama. Pertama, bijih dimasukkan ke dalam rotary kiln atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pemanasan dengan temperatur tinggi. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian, mereduksi



kalsin dengan cara direaksikan dengan sulfur dalam *electric furnace*. Sulphur dapat ditambahkan baik dalam bentuk unsur maupun dalam bentuk gypsum atau pirit. Akibatnya, terak yang mengandung komponen oksida dari bijih dan sulfida nikel terbentuk. Konsentrat yang berisi 30-35% nikel, kemudian dibawa ke converter, di mana udara ditiupkan ke dalam converter, sehingga mengoksidasi besi. Konsentrat akhir yang mengandung 75-78% Ni

### 2. *Reduction Roast – Amonia Leach Process*

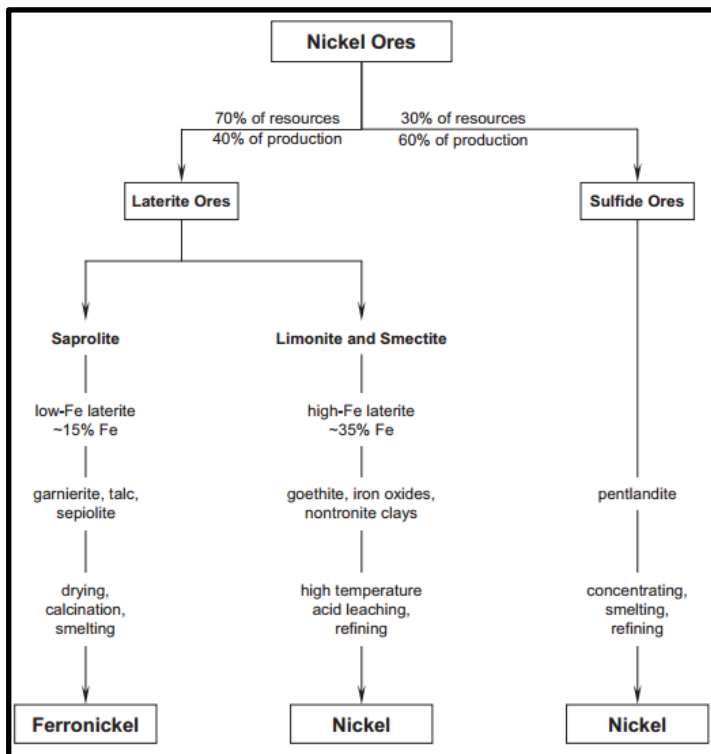
Proses ini juga disebut sebagai *Caron Process*. Ada 4 langkah yang utama, yaitu Pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan *metal recovery*. Pada proses ini *Reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan recovery nikel dan cobalt secara maksimal. *Caron Process* dapat me-recover 70 – 80% nikel dan hanya 40 – 50% kobalt. Proses ini diutamakan untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentit atau bijih laterit yang mengandung besi dengan kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka *recovery* nikel akan menurun secara signifikan. Dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, hal ini membuat sebagian besar NiO akan tidak tereduksi ketika proses reduksi *roasting*.

### 3. *Electric Furnace Smelting to Ferronickel*

Pada proses ini, bijih pertama dipanaskan dan dikalsinasi untuk menghilangkan uap air dan air yang berikatan secara kimia, kemudian diproses langsung ke tanur listrik dan mengalami reduksi dan mencair pada temperatur sekitar 1550°C. Hampir



semua nikel dan sebagian besar besi tereduksi pada tahap ini dan paduan *FerroNickel* terbentuk, yang biasanya mengandung sekitar 25% Ni. Proses terakhir yaitu memurnikan *crude FerroNickel* menjadi produk yang dapat dijual. Proses pemurnian yang dilakukan yaitu mengeluarkan *crude FeNi* dari tanur listrik ke dalam *Ladle*, dimana zat *additive* seperti soda ash, lime, dan *calcium carbide* ditambahkan ke dalam *crude FeNi* untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor (Li, 1999).



**Gambar 2.2** Diagram Ekstraksi Nikel dan *FerroNickel*  
(Crundwell, 2011).





### 2.3 Aglomerasi Nikel Laterit Limonite

Pada penelitian ini, *Mini Blast Furnace (MBF)* nantinya akan dipilih untuk digunakan sebagai reaktor karena pada proses menggunakan MBF telah mencakup hampir semua proses pada pirometalurgi, mulai dari proses pengeringan, proses kalsinasi dan reduksi, dan proses *smelting*. Dengan beberapa proses telah terintegrasi menjadi satu alat yaitu *MBF* sehingga akan lebih menghemat konsumsi energi dan juga waktu yang membuatnya lebih efisien dan ekonomis.

Salah satu feed material pada reaktor *Mini Blast Furnace* adalah fluks. Fluks berguna untuk menjaga tingkat basisitas slag agar proses pengolahan / *smelting* dapat berjalan dengan baik. Akan tetapi, jika fluks tersebut langsung dimasukkan dalam *mini blast furnace* maka akan membutuhkan banyak energi untuk menaikkan temperatur fluks tadi. Sehingga, fluks akan lebih baik ditambahkan saat proses persiapan material / *roasting* sebelum masuk ke dalam *mini blast furnace*. Oleh karena itu diperlukan suatu proses penggumpalan (aglomerasi) yang dilanjutkan dengan proses *roasting*.

Proses aglomerasi menjadikan ore laterit limonite yang berupa tanah digumpalkan yang telah dicampur dengan batubara serta fluks dengan komposisi tertentu. Sehingga *burden material* hasil aglomerasi akan sesuai untuk proses pada *mini blast furnace*.

Proses aglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Campuran dari laterit, batu bara, dan fluks dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa kanji yang berfungsi sebagai zat pengikat.

Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) briket untuk meningkatkan kekuatan green biket sebelum proses *roasting*, mengurangi tingkat degradasi briket saat transportasi dan handling. Karena hanya untuk keperluan sebelum proses *roasting*, binder



tidak boleh memberikan efek negative pada proses roasting. Kanji dipilih sebagai binder karena kanji merupakan zat organik, yang akan terbakar habis saat pemanasan.

Menurut Li (2012), perlu ditambahkan bahan tambahan berupa Natrium Sulfat untuk mekanisme *selective reduction* pada Ni. Secara spesifik pembriketan dibagi menjadi briket dingin dan briket panas. Briket dingin hanya dilakukan pada temperature kamar, sedangkan briket panas dilakukan proses kalsinasi hingga temperature diatas 1000 °C hingga dibawah temperatur lelehnya. Proses kalsinasi dilakukan dalam proses roasting.



**Gambar 2.3** Bentuk Briket (arstaeco.com)

Proses pembriketan yang dilakukan berupa briket panas, hal ini dilakukan untuk memperoleh komposisi kimia briket laterit yang sesuai dengan proses produksi NPI (*Nickel Pig Iron*) pada *Mini Blast Furnace*. Proses pembriketan panas harus mencakup (Crundwell, 2011):

1. Menghilangkan sisa kadar air pada ore (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
2. Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam ore menjadi nikel metal



3. Mereduksi mineral  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi mineral  $\text{Fe}^{2+}$  dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal
4. Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.

Bentuk briket yang digunakan berupa bentuk bantal (*pillow*) dipilih dengan maksud tertentu. Jika dibandingkan dengan briket berbentuk bola yang memiliki keseragaman tegangan di seluruh permukaannya. Namun briket dengan bentuk bola akan sulit dibuat karena keterbatasan alat yang ada, proses pelepasan briket bola dari alat biket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket bebentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal dengan volume yang sama memiliki tebal penambang kecil dan luas permukaan yang lebih besar dibanding dengan bentuk bola. Hal tersebut akan meningkatkan heat flux saat proses pemanasan. Heat flux yang besar akan meningkatkan heat transfer sehingga tingkat reduksi yang terjadi juga akan semakin besar.

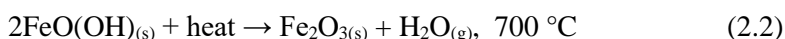
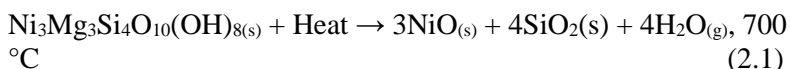
Pada proses pembriketan, proses reduksi yang terjadi haruslah secara optimal. Temperatur kalsinasi / roasting haruslah sesuai dengan temperature terjadinya reaksi reduksi dari mineral nikel dan besi dalam laterit. Ketika temperature tidak mencukupi maka reaksi reduksi tidak optimal karena energi yang diperl ukan tidak mencukupi.

Perlu juga dipertimbangkan kebutuhan gas CO sebagai agen reduktor. Gas CO berasal dari batu bara, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan komposisi batu bara yang sesuai. Apabila ketersediaan batu bara tidak memadai maka reaksi tidak berjalan optimal karena gas CO juga kurang untuk mereduksi mineral nikel dan besi yang ada.



Menurut buku “Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt” (Tyroler & Landolt, 1998). Persamaan reaksi ekstraksi dari nikel laterit pada proses roasting ditunjukkan pada reaksi :

- Terjadi dekomposisi garnierite dan goethite (ore)



- Reaksi reduksi oleh gas CO



## 2.4 Batu Bara

Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisis unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $\text{C}_{137}\text{H}_{97}\text{O}_9\text{NS}$  untuk bituminus dan  $\text{C}_{240}\text{H}_{90}\text{O}_4\text{NS}$  untuk antrasit.

Berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, panas dan waktu, batu bara umumnya



dibagi dalam lima kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut.

1. Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.
5. Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah

Menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara "*coal rank*", yaitu perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminous, sampai antrasit. Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah temperatur, tekanan, dan waktu.



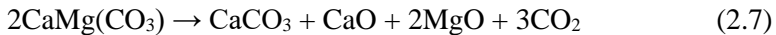
**Gambar 2.4** Batu Bara (id.wikipedia.org)



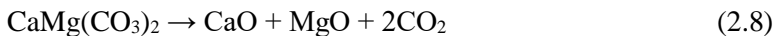
## **2.5 Dolomit**

Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui (Noviyanti dkk, 2015). Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat  $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ .

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  disertai dengan pembentukan  $\text{MgO}$  pada temperature antara  $700\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $750\text{ }^\circ\text{C}$ . Dimana reaksi yang terjadi yaitu :



Pada temperature yang lebih tinggi,  $\text{CaCO}_3$  akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$  akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu :

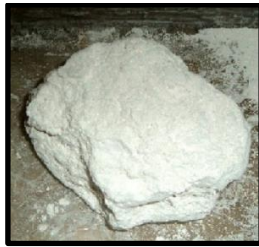
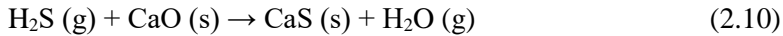


Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur  $780 - 785\text{ }^\circ\text{C}$  serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur  $950 - 960\text{ }^\circ\text{C}$  (Philip Engler, dkk. 1988).

Dalam penelitian ini dolomit yang digunakan berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  dalam proses reduksi. Gas  $\text{CO}_2$  ini berguna untuk reaksi pembentukan gas  $\text{CO}$  (Reaksi Boduard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$ . Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Dolomit dapat berperan dalam proses desulfurisasi



batubara pada range temperatur 870 – 1037 °C (Spencer. 1985), dengan reaksi :



**Gambar 2.5** Batu Kapur (dnr.mo.gov)

## **2.6 Limestone**

Limestone merupakan salah satu batuan sedimen. Limestone memiliki kandungan utama yang berupa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Limestone juga dapat disebut sebagai batu gamping / kalsium. Namun dalam beberapa hal, limestone juga dikatakan sebagai batu kapur. Meski tampilan fisik dari limestone dan batu kapur sekilas sama, akan tetapi senyawa yang komponen penyusun dari limestone dan batu kapur berbeda. Yang membedakan yaitu, kandungan utama pada limestone yaitu kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang kadarnya sekitar 95%, sedangkan kandungan utama pada batu kapur atau bisa disebut juga sebagai dolomit yaitu kalsium magnesium karbonat ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Seperti yang diketahui bahwa batu kapur mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat yaitu sekitar 95%. Kandungan kalsium karbonat ini dapat diubah menjadi kalsium oksida dengan kalsinasi sehingga lebih mudah terdekomposisi menghasilkan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) (Noviyanti, dkk. 2015).



Dengan cara ini, batu kapur dapat dimanfaatkan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> dalam proses reduksi. Gas CO<sub>2</sub> ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas CO<sub>2</sub> diperoleh dari reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub>. Reaksi dekomposisi CaCO<sub>3</sub> berlangsung secara spontan, dimana reaksinya :



Munculnya fase oksida dari kalsium dikarenakan pada suhu 750 °C Ca(CO<sub>3</sub>) mengalami dekomposisi akibat energi panas dan membentuk CaO. Berdasarkan referensi dari para peneliti disebutkan bahwa CaO seringkali dihasilkan melalui kalsinasi Ca(CO<sub>3</sub>) secara langsung dengan temperatur tinggi. Elemen – elemen yang terkandung pada Ca(CO<sub>3</sub>) tidak hanya elemen penyusun kalsium namun juga terdapat beberapa elemen lain, seperti kalium, silikon, sodium, potassium, aluminium, dan oksigen yang akan mengalami penurunan kadar seiring dengan meningkatnya suhu kalsinasi kecuali kalsium (Ca) yang kadarnya semakin meningkat (Noviyanti, Jasruddin, & Sujiono, 2015).



**Gambar 2.6** Limestone (dnr.mo.gov)



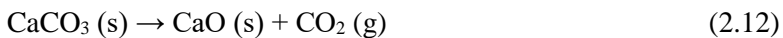


## **2.7 Quicklime**

Kalsium oksida (CaO), umumnya dikenal sebagai kapur atau dibakar kapur, adalah senyawa kimia secara luas digunakan. Ini adalah putih, kaustik, basa, kristal padat pada suhu kamar. Untuk umum digunakan istilah "kapur" berkonotasi bahan anorganik yang mengandung kalsium, di mana karbonat, oksida dan hidroksida kalsium, silikon, magnesium, aluminium, dan besi mendominasi. Sebaliknya, "kapur" khusus berlaku untuk senyawa kimia kalsium oksida tunggal. Kalsium oksida yang bertahan pengolahan tanpa bereaksi dalam produk bangunan seperti semen disebut bebas kapur.

Kapur relatif murah. Kedua hal itu dan turunan kimia (kalsium hidroksida, yang kapur merupakan basis anhidrida) adalah bahan kimia komoditas penting.

Kalsium oksida biasanya dibuat oleh dekomposisi termal dari bahan, seperti batu kapur atau kerang, yang mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>2</sub>; kalsit mineral) dalam kiln kapur. Hal ini dilakukan dengan memanaskan material di atas 825 ° C (1517 ° F), proses yang disebut kalsinasi atau kapur pembakaran, untuk membebaskan molekul karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), meninggalkan kapur.



kapur tidak stabil dan, ketika didinginkan, secara spontan akan bereaksi dengan CO<sub>2</sub> dari udara sampai, setelah cukup waktu, itu akan benar-benar diubah kembali ke kalsium karbonat kecuali dipuaskan dengan air untuk ditetapkan sebagai plester kapur atau kapur mortar.

produksi di seluruh dunia tahunan kapur adalah sekitar 283 juta ton. China adalah jauh produsen terbesar di dunia, dengan total



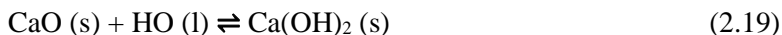
sekitar 170 juta ton per tahun. Amerika Serikat adalah terbesar berikutnya, dengan sekitar 20 juta ton per tahun.

Sekitar 1,8 t batu kapur diperlukan per 1,0 t kapur. Kapur memiliki afinitas tinggi untuk air dan sebuah pengering lebih efisien daripada silika gel. Reaksi kapur dengan air dikaitkan dengan peningkatan volume dengan faktor minimal 2,5. (Yu & Brouwers, 2011)

Reaksi dalam pembuatan kapur :



Jika disiram dengan air, maka kapur tohor akan menghasilkan panas dan berubah menjadi kapur padam (*calcium carbonate*, CaOH) CaCO<sub>3</sub> : Lime stone (kalsium karbonat) Batu kapur (bahasa Inggris: limestone) (CaCO<sub>3</sub>) adalah sebuah batuan sedimen terdiri dari mineral calcite (*calcium carbonate*). Untuk menuliskan reaksi yang terjadi antara kapur tohor CaO(s) dengan air H<sub>2</sub>O(l) adalah sebagai berikut:





Hasil dari proses reaksi kimia tersebut adalah  $\text{Ca(OH)}$  atau kalsium hidroksida sukar larut dalam air dan apabila didiamkan maka akan tampak endapan/padatan putih di dasar bejana. (Kato, Murakami, & Sugawara, 2012)



**Gambar 2.7** Quicklime (geology.com)

## **2.8 Termodinamika Reduksi Nikel Laterit**

Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada diagram diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Besar nilai energi bebas ( $\Delta G^\circ$ ) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai  $\Delta G^\circ$  suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida.

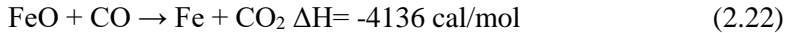
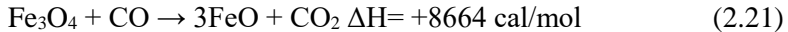
Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.9 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya



dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

Klasifikasi reaksi reduksi suatu bijih mineral berdasarkan reducing agent dikemukakan oleh *metallurgist* Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Andronov 2007). Dia membuktikan secara pengujian bahwa reduksi bijih besi terjadi dalam 2 cara, yaitu: kontak antara bijih dan arang atau interaksi dengan gas reduktor.

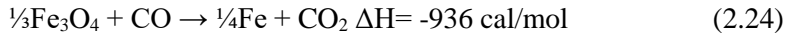

$$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 \quad \Delta H = -12636 \text{ cal/mol} \quad (2.20)$$



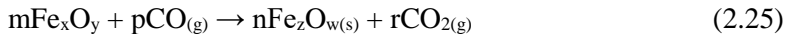
Ketika wustit bertemu dengan silikat akan membentuk fasa fayalit, seperti reaksi:



Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.20) dan (2.25), mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi (2.21) mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.



Dalam sistem solid dan reduktor berfasa gas, seluruh reaksi selama reduksi bijih besi dapat terjadi dalam dua langkah (Chatterjee 1988): reduksi mineral besi dan gasifikasi karbon.



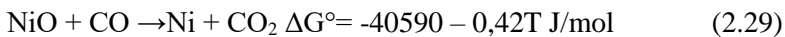
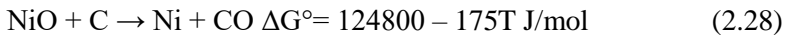
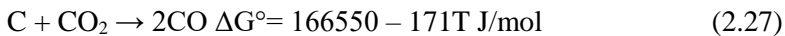
Dalam reaksi Boudouard, ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida, 1 volume karbon dioksida menghasilkan 2 volume karbon monoksida pada tekanan konstan. Jika dalam volume konstan, reaksi akan meningkatkan temperatur. Jika tekanan meningkat, maka kesetimbangan sistem karbon oksigen akan bergeser untuk melepas tekanan. Oleh karena itu untuk menjaga rasio  $\text{CO}/\text{CO}_2$  tetap sama pada tekanan tinggi, temperatur harus ditingkatkan.



Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur 440 °C. Sedangkan reaksi reduksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan gas CO mterjadi pada tempetarur 650 °C. Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard baru terjadi pada temperatur diatas 900 °C.

Menurut Li (2011), reaksi reduksi nikel dari laterit terjadi pada metode deoksidasi *solid-state*, reduktor gas dan padat keduanya digunakan. Proses reduksi nikel Ni dipengaruhi oleh temperatur, waktu reduksi, kadar CO, kadar karbon dan kadar CaO.

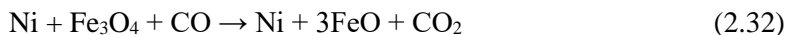
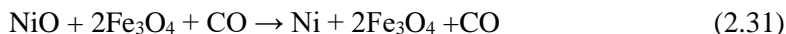
Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:



Dari diagram Ellingham (Gambar 2.7), temperatur terendah pada tekanan atmosfer terjadinya reduksi NiO oleh *fixed carbon* pada temperatur 440 °C. Kurva energi Gibbs standar dari pembentukan NiO adalah lebih dari CO<sub>2</sub>, dan energi bebas Gibbs standar dari reaksi (2.23) bernilai negative pada tekanan atmosfer. Sehingga NiO dengan mudah tereduksi dengan CO (Li, 2011).

Faktanya, ore nikel laterit merupakan ore yang kompleks, termsuk di dalamnya berupa senyawa NiO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dll, sehingga reaksi-reaksi lain pun secara simultan terjadi pada proses reduksi, Berdasarkan reduksi dari trevorite, NiO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yang lebih mudah terjadi reduksi nikel oksida menjadi nikel metalik dimulai dengan:





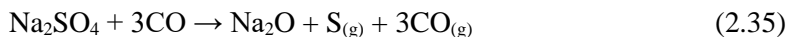
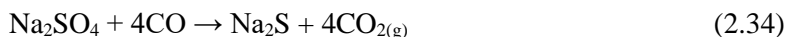
Reduksi selanjutnya dari wustit menjadi besi metalik terjadi:



Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.32) dan (2.33) akan sulit terjadi (Olli 1995).

Menurut Jiang (2013) mekanisme *selective reduction* dari nikel terjadi sesuai reaksi berikut:

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat



- Pengikatan Fe membentuk FeS



## 2.9 Kinetika Reduksi Ore

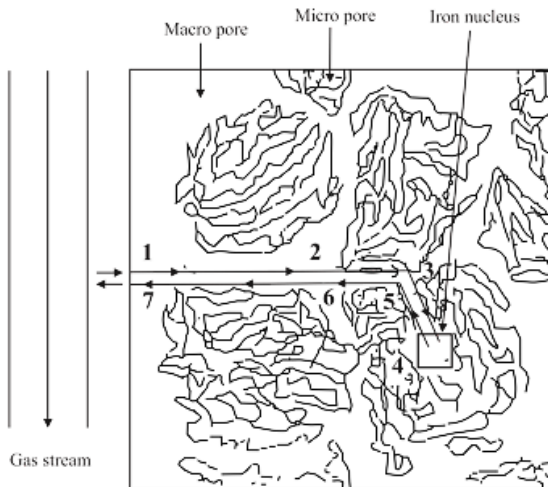
Kinetika reaksi reduksi bijih mineral adalah kecepatan mineral oksida untuk bertransformasi menjadi logam metalik dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih mineral tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, *porosity*, struktur kristal, serta komposisi kimia (Ross 1980). Kinetika reduksi menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu





perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy (2007) menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi mineral oksida seperti komposisi bahan baku, basisitas, komposisi gas, dan temperatur reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan *volume* dari mineral oksida pada temperatur 800 – 1100 °C.

Bijih mineral dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai pori makro dan pori yang lebih kecil dikenal sebagai pori mikro. Mekanisme reduksi ore mineral bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.8 (Bogdandy, Von and Engell 1971).



**Gambar 2.9** Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, Von and Engell 1971).

Dimana:

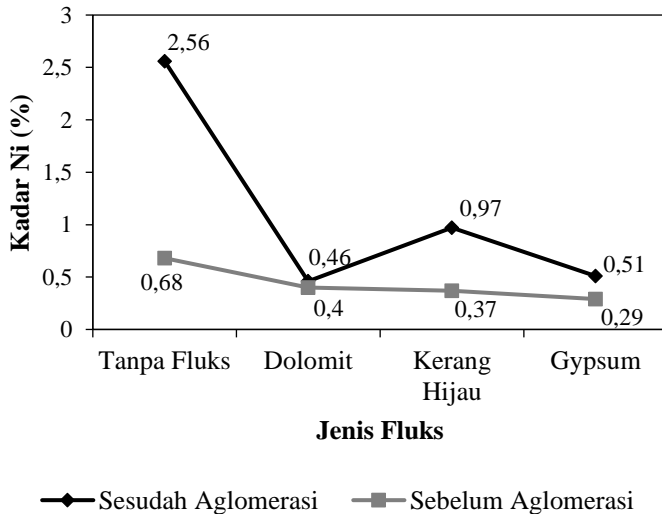
1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melalui pori-pori makro pada bijih besi.



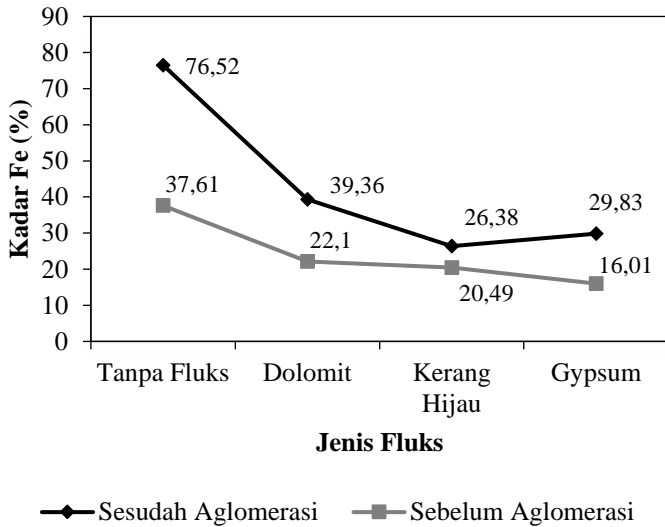
3. Difusi gas reduktor melalui pori-pori mikro menuju posisi reaksi.
4. Reaksi pada batas fasa.
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro.
6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro.

## 2.10 Kajian Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dio Yoshitaka dengan menggunakan fluks dolomite, kerang hijau, dan gypsum pada proses aglomerasi nikel laterite limonite didapatkan hasil peningkatan Fe dan Ni sebesar gambar dibawah:



**Gambar 2.10** Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi



**Gambar 2.11** Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Fe dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi

Ore nikel laterit hasil ayakan dicampur dengan batu bara, fluks (batu kapur / limestone / quicklime), dan Natrium Sulfat. Kanji dicampur dengan air hingga 100 mL, dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Campuran dari ore nikel laterit, batu bara, fluks, dan Natrium Sulfat ditambahkan kanji yang telah sedikit mengental dan diaduk hingga merata. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm<sup>2</sup>. Dalam satu kali proses aglomerasi dibutuhkan 4 buah briket.

Briket hasil kompaksi dikeringkan dengan menggunakan oven terlebih dahulu selama 3 jam pada temperatur 110 °C. Briket yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam *Muffle Furnace* untuk dilakukan proses aglomerasi. Pemanasan di *Muffle Furnace* dilakukan hingga temperatur 1200 °C dengan *heat rate* 10 °C /



menit. Kemudian dilakukan *holding* pada temperatur 1200 °C selama 3 jam.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan penelitian oleh Jiang, Sun, Liu , Kou, Liu, & Zhang. mengenai mekanisme reduksi *roasting* dari bijih nikel laterit dengan menggunakan beberapa jenis fluks maupun zat aditif. Fluks yang digunakan pada penelitian sebelumnya yaitu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ , dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Pada penelitian yang menggunakan fluks berupa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya semula sebesar Ni 1,86% dan Fe 13,59% menjadi 10,83% Ni dengan tingkat *recovery* 82,15%. Pada penelitian yang menggunakan fluks berupa  $\text{CaSO}_4$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya semula sebesar Ni 1,42% dan Fe 23,16% menjadi 6% Ni dengan tingkat *recovery* 92,10%. Pada penelitian yang menggunakan zat aditif berupa  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , kadar dari Ni dan Fe pada bijih nikel lateritnya sebesar Ni 1,91% dan Fe 22,10% menjadi 9,48% Ni dengan tingkat *recovery* 83,01%.

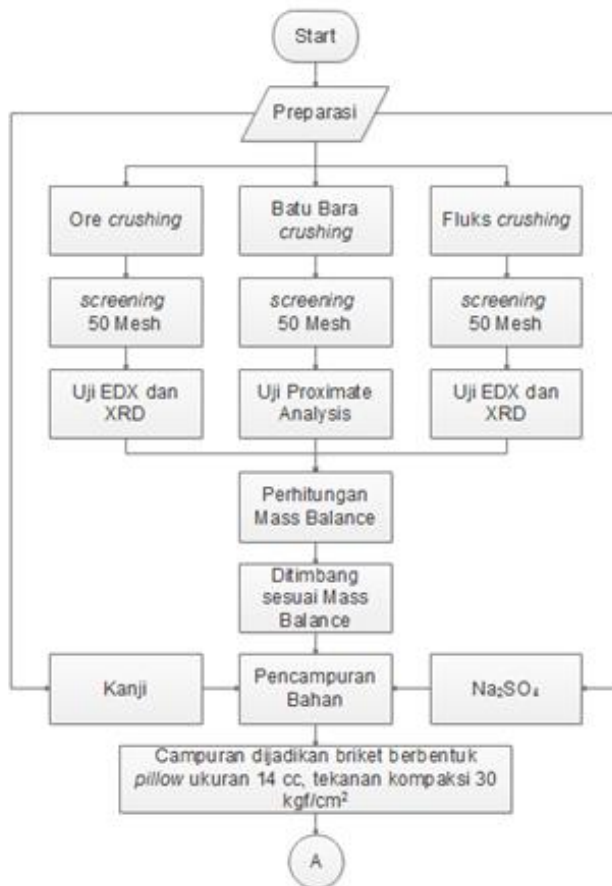


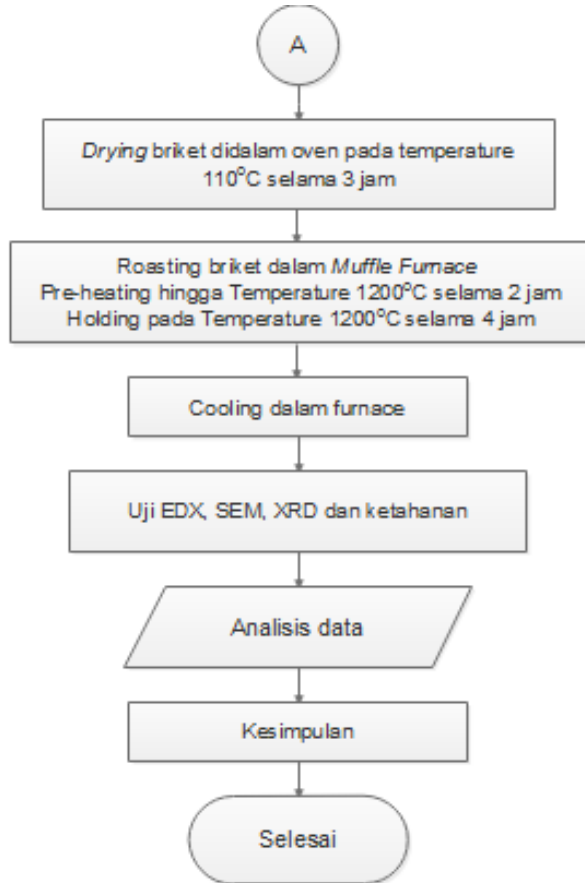
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :



### **3.2.1 Ore Nikel Laterite**

Ore nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah ore nikel laterit berupa limonit, yang berasal dari daerah Halmahera Timur. Ore nikel dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh



**Gambar 3.2** Nikel Laterite Limonite

### **3.2.2 Batu Bara**

Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan. Batu bara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh



**Gambar 3.3** Batu Bara





### **3.2.3 Batu Kapur**

Batu Kapur (Dolomite) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh.



**Gambar 3.4** Batu Kapur

### **3.2.4 Limestone**

Limestone yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga 50 mesh.



**Gambar 3.5** Limestone

### **3.2.5 Quicklime**

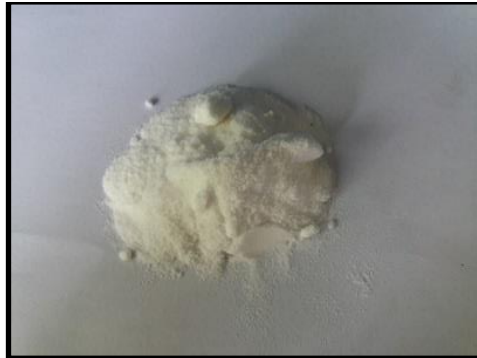
Quicklime yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga 50 mesh



**Gambar 3.6** Quicklime

### 3.2.6 Natrium Sulfat

Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



**Gambar 3.7** Serbuk Natrium Sulfat

### 3.2.7 Kanji

Kanji digunakan dalam penelitian ini sebagai pengikat (binder) dalam pembuatan briket.



**Gambar 3.8** Serbuk Kanji

### 3.2.8 Air

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu air ledeng.

### 3.2.9 LPG

LPG digunakan dalam penelitian sebagai sumber bahan bakar yang digunakan dalam *Muffle Furnace*.



**Gambar 3.9** LPG



### 3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

#### 3.3.1 Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa ore, batubara, fluks, natrium sulfat, dan kanji. Volume hasil beriket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket :

Panjang : 4,3 cm

Lebar : 3,4 cm

Tebal : 1,65 cm



**Gambar 3.10** Alat Kompaksi

#### 3.3.2 Muffle Furnace

Proses aglomerasi dilakukan dengan menggunakan *muffle furnace*. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Panjang : 48 cm



Lebar : 85 cm  
Tinggi : 64 cm  
Tebal batu tahan api : 7 cm



**Gambar 3.11** *Muffle Furnace*

### 3.3.3 Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan dalam penelitian ini untuk menimbang bahan baku yang akan digunakan sebagai bahan campuran untuk pembuatan briket.

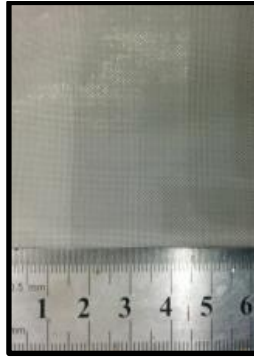


**Gambar 3.12** Timbangan Digital



### 3.3.4 Ayakan

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh.



Gambar 3.13 Ayakan

### 3.3.5 Thermocouple

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *muffle furnace* saat proses aglomerasi.



Gambar 3.14 Thermocouple



### 3.3.6 Blower

Blower digunakan untuk meniupkan udara luar ke dalam *muffle furnace*.



**Gambar 3.15** Blower

### 3.3.7 Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi untuk menghilangkan *moisture content*.



**Gambar 3.16** Oven

### 3.3.8 Alat Tumbuk

Alat tumbuk digunakan untuk menghancurkan bahan baku yang digunakan agar mendapatkan ukuran butir bahan baku yang sesuai, yaitu 50 mesh.



**Gambar 3.17** Alat Tumbuk

### **3.4. Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.4.1 Persiapan Material**

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

1. Ore laterit limonite, batu bara, batu kapur, limestone, dan quicklime ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran mesh sebesar 50 mesh.
2. Ore laterit limonite, batu kapur, limestone, dan quicklime diuji XRF dan XRD.
3. Batu bara diuji *proximate analysis*.
4. Pembuatan briket nikel laterit limonite.

Ore nikel laterit hasil ayakan dicampur dengan batu bara, fluks ( Dolomit / Limestone/ Quicklime ), dan Natrium Sulfat. Kanji dicampur dengan air hingga 100 mL, dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Campuran dari ore nikel laterit limonite, batu bara, fluks, dan Natrium Sulfat ditambahkan kanji yang telah sedikit mengental dan





diaduk hingga merata. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm<sup>2</sup>. Dalam satu kali proses aglomerasi dibutuhkan 4 buah briket.

5. Briket hasil kompaksi dikeringkan dengan menggunakan oven terlebih dahulu selama 3 jam pada temperatur 110 °C.

### 3.4.2 Proses Aglomerasi

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses aglomerasi yaitu :

1. Briket yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk dilakukan proses aglomerasi.
2. Pemanasan di *muffle furnace* dilakukan hingga temperatur 1200°C dengan *heat rate* 10°C / menit (selama 2 jam). Kemudian dilakukan *holding* pada temperatur 1200°C selama 4 jam.
3. Briket hasil aglomerasi didinginkan di dalam *muffle furnace*.
4. Setelah proses aglomerasi selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *muffle furnace*.
5. Briket hasil aglomerasi selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD dan EDX.

### 3.5 Neraca Massa Briket Nikel Laterit Limonit

Proses pembriketan yang akan dilakukan proses aglomerasi memerlukan perhitungan terhadap massa bahan yang akan dikomposisikan. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, batu bara, dan fluks (batu kapur dolomit,



limestone, dan quicklime), Natrium Sulfat, dan kanji. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1200 °C.

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO, sesuai reaksi Boudouard (2.23), sebagai agen reduktor untuk mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$ . Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kebutuhan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditentukan dari 10% massa total briket setelah dihitung neraca massa yang didapat dari bijih nikel laterit, batubara, dan fluks (Jiang, et al. 2013). Diharapkan penambahan Natrium sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk  $\text{FeS}$  sesuai reaksi (2.33) dan (2.34), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan fluks ditentukan berdasarkan target basisitas briket. Dengan penambahan komposisi kapur akan menaikkan basisitas campuran briket. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket.

Desain target proses aglomerasi briket ditentukan pada Tabel 3.1 berikut:

**Tabel 3.1** Target Aglomerasi Nikel Laterit Limonit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
<b>Reaksi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
<b>Reduksi</b>	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
<b>Reaksi</b>	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
<b>Basicity</b>	-	$0,0565 \rightarrow 1,2$	-
<b>Pengikat</b>	Kanji	3	Persen (%)



Berdasarkan target proses aglomerasi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit dan batasan berupa nilai basisitas yaitu 1,2. Dan diperoleh perbandingan komposisi ore : batu bara: fluks : Natrium Sulfat : kanji, untuk masing masing fluks sebesar :

**Tabel 3.2** Perbandingan Komposisi Briket

Variabel Fluks	Bijih Nikel (gram)	Batu Bara (gram)	Fluks (gram)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (gram)	Kanji (gram)	Massa Total (gram)
Tanpa Fluks	100	62,5	0	16,75	5,03	184,28
Fluks	100	66,9	87,85	25,5	8,40	288,65
Dolomit Fluks	100	84,5	47,5	17,63	7,2	256,83
Limestone Fluks	100	84,5	51,5	17,7	7,3	216
Quicklime						

Jika melalui perhitungan prosentase massa bijih tiap variasi briket dengan kadar Fe 69,3 % dan Ni 1,25 % dalam bijih, dapat diperoleh kadar Fe dan Ni pada masing-masing briket variasi jenis fluks sebelum dilakukan proses aglomerasi ditunjukkan pada Tabel 3.3.



**Tabel 3.3** Kadar Fe dan Ni pada Briket

Variabel Fluks	Massa Campuran Briket	Fe		Ni	
		Massa (gram)	%	Massa (gram)	%
Tanpa Fluks	184,28	55,37	30,04	1,25	0,68
Fluks	313,57	55,37	17,65	1,25	0,40
Dolomit Fluks	256,83	55,37	21,55	1,25	0,48
Limestone Fluks	216	55,37	25,63	1,25	0,57
Quicklime					

### 3.6 Pengujian Penelitian

#### 3.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-1} - 10$  nm, berfrekuensi 1017 – 1020 Hz dan memiliki energi 103 – 106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia, dan keadaan lain yang memiliki orde sama.



**Gambar 3.18** XRD PAN Analytical

### **3.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM)**

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk mengetahui topografi, morfologi dari suatu sampel yang diuji.



**Gambar 3.19** SEM-EDX



### **3.6.3 Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)**

*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* atau EDX adalah suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa elemen atau karakterisasi kimia dari suatu sampel. Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap – tiap photon *X-Ray* menunjukkan karakteristik masing – masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak–puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel.

### **3.6.4 Proximate Analysis**

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (Fixed Carbon), ASTM D 3173-02 (Moisture), ASTM D 3174-02 (Ash), dan ASTM D 3175-02 (Volatile matter).

#### **3.6.4.1 Moisture**

Analisa kadar moisture dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Bahan :



1. Udara kering
2. Pengering, seperti kalsium sulfat anhidrat (0,004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0,0005 mg/L), dan asam sulfat (0,003 mg/L)

Alat :

1. Oven Pengering

Prosedur

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (104°C – 110°C). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur ruangan.
3. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.1)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

#### **3.6.4.2 Volatile Matter**

Analisa kadar volatile matter dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 µm.

Alat



1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm. Dan tinggi 30 – 35 mm.
2. Vertical electric tube furnace.

**Prosedur**

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam furnace, temperatur dijaga  $950 \pm 20^\circ\text{C}$ .
2. Setelah volatile matter lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api luminous, periksa tutup krusibel masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar furnace dan didinginkan.
4. Timbang ketika dingin
5. Presentasi weigh loss dikurangi presentasi moisture sama dengan volatile matter.

**Perhitungan**

$$\text{Weight Loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

Dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen volatile matter dihitung

$$\text{Volatile Matter, \%} = C - D \quad (3.3)$$

Dimana,

C = Weight Loss (%)

D = Moisture (%)





### **3.6.4.3 Ash**

Analisa kadar ash dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat

1. Electric muffle furnace
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, didinginkan dan timbang.

Perhitungan

$$\text{Ash, \%} = [(A - B) / C] \times 100 \quad (3.4)$$

Dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan ash (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gr)

### **3.6.4.4 Fixed Carbon**

Analisa kadar fixed carbon dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan



perhitungan dari data kadar moisture, ash, dan volatile matter.

$$\text{Fixed Carbon, \%} = 100\% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \quad (3.5)$$

### 3.6.4 Uji Shatter Index

Pengujian uji tekan ini menggunakan metode *shatter index*. *Shatter index* adalah pengujian daya tahan briket terhadap benturan yang dijatuhkan pada ketinggian 2 meter. Pengujian ini dilakukan untuk menguji seberapa kuatnya briket nikel yang telah dilakukan proses aglomerasi terhadap benturan yang disebabkan ketinggian dan berapa % bahan yang hilang atau yang lepas dari briket akibat dijatuhkan pada ketinggian 2 meter. Sesuai dengan Standar ASTM D6404.

#### Langkah Pengujian

1. Mula-mula briket ditimbang dengan menggunakan timbangan digital, ini disebut berat awal. Kemudian briket dijatuhkan pada ketinggian 2 meter yang dimana landasannya harus benar-benar rata dan halus.
2. Setelah dijatuhkan, pasti akan ada partikel-partikel yang lepas dari briket.
3. Lalu briket ditimbang ulang untuk mengetahui berat yang hilang dari briket.

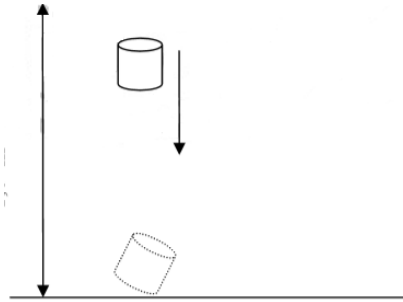
Dalam pengujian shatter indek menggunakan rumus :

$$\text{Partikel yang hilang (\%)} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (3.6)$$



Dimana : a = Berat briket sebelum dijatuhkan (gram)  
b = Berat briket setelah dijatuhkan (gram)

Setelah mengetahui berapa % partikel yang hilang, kita dapat mengetahui kekuatan briket terhadap benturan. Apabila partikel yang hilang terlalu banyak, berarti briket yang dibuat tidak tahan terhadap benturan.



**Gambar 3.20** Pengujian shatter index

### 3.7 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.4 Rancangan Penelitian**

Perbandingan Komposisi Bahan dengan Jenis Fluks		Hasil Pengujian		
Jenis Fluks	Rasio Komposisi*	XRD	SEM	EDX
Dolomite	100 : 88 : 88 : 28 : 9.4			
Limestone	100 : 84.5 : 47.5 : 17.63 : 7.2			
Quicklime	100 : 84.5 : 51.5 : 17.7 : 7.3			



\*Komposisi Bahan : Ore : Batu Bara : Fluks :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  :  
Kanji

### 3.8 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian ini disusun dengan tujuan agar penelitian dapat dilakukan tepat waktu dan terencana. Selain itu jadwal kegiatan berfungsi agar peneliti dapat melakukan evaluasi mengenai *timeline* penelitian yang dilakukan

**Tabel 3.5** Jadwal Penelitian

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Preparasi alat dan sample														
Pengujian Bahan														
Pembriketan dan Proses														
Pengujian Hasil Reduksi														
Analisa dan Pembahasan														



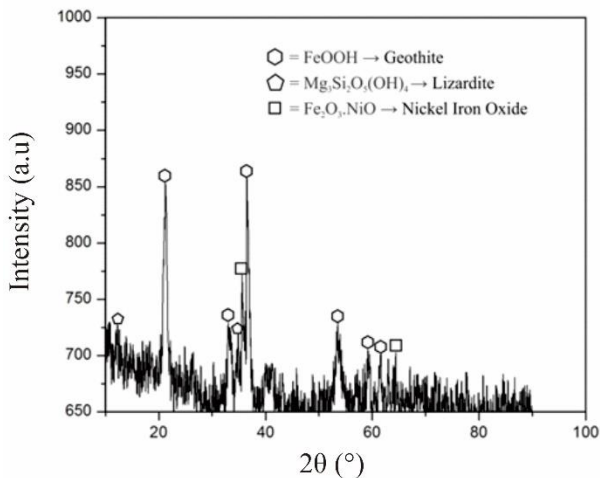
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Bijih Nikel Laterit

Identifikasi fasa dari bijih bikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Bijih nikel laterit limonit yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Sulawesi Tenggara. Bijih nikel laterit limonit telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari bijih nikel limonit laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit Limonite

Pengujian XRD menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 di atas. Hasil pengujian XRD



dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit limonite. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada bijih tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada bijih nikel laterit adalah *goethite* ( $\text{FeOOH}$ ). Selain itu juga terdapat fasa *lizardite* ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan *Nickel Iron Oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{NiO}$ ). Pengujian komposisi / kadar bijih nikel laterit dilakukan terhadap bijih nikel laterit hasil sampling yang sama seperti pengujian XRD. Pengujian tersebut menggunakan mesin SEM-EDX. Sehingga, didapatkan data komposisi bijih seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit Limonit

Unsur	Ni	Fe	O	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Co
% wt	1,25	55,37	31,49	0,42	5,04	1,94	0,2	0,67	0,46	1,54	1,62

## 4.2 Karakteristik Batubara

Batubara berperan penting menyediakan karbon dalam bertindak sebagai reduktor (gas CO hasil gasifikasi batubara) yang mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.



**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	1.8	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	4.75	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	42.35	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang mudah menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	52.86	%, adb	ASTM D3172-02
<b>Nilai Kalori</b>	7204	Cal/gr, adb	ASTM D5865-03

Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan Sub-bituminus. Hasil dari analisa proksimat di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan fluks, batu bara, Natrium Sulfat dan kanji untuk proses aglomerasi.

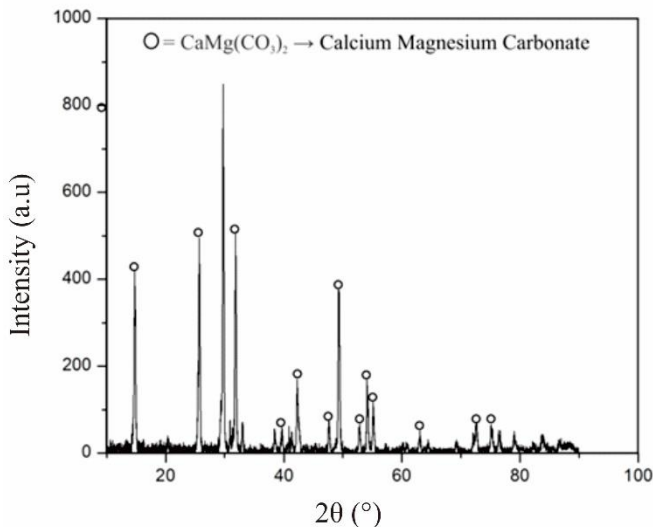
#### 4.3 Karakteristik Batu Kapur (Dolomit)

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa dolomit yang berasal dari Gresik. Batu kapur telah diayak





dengan ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Hasil Pengujian XRD Dolomit

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium Magnesium Carbonate* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Setelah mengetahui fasa dari batu kapur, selanjutnya batu kapur diuji XRF untuk mengetahui komposisi yang terdapat



pada batu kapur. Sehingga, didapatkan data komposisi batu kapur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian XRF Dolomit

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium	Ca	18.015
2.	Magnesium	Mg	14.30
3.	Karbon	C	12.6215
4.	Oksigen	O	55.0635

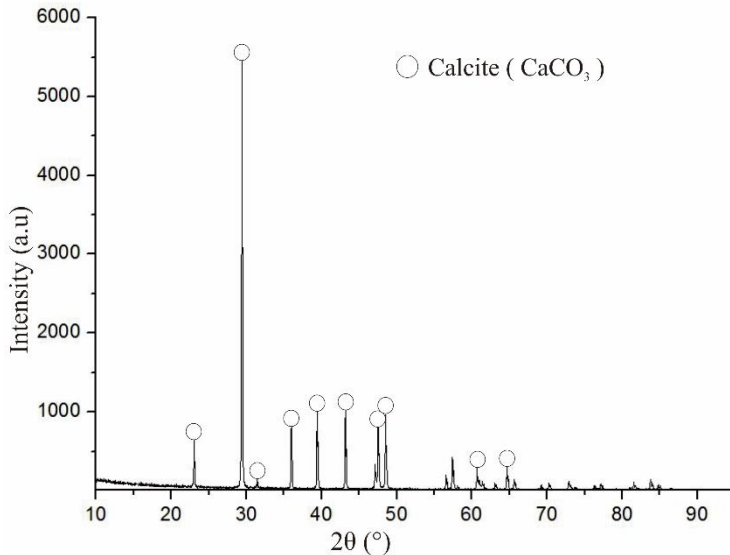
Dari pengujian XRF di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14.30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

#### 4.4 Karakteristik Limestone

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa limestone yang berasal dari Tuban. limestone telah diayak



dengan ayakan 50 mesh atau 300  $\mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari limestone dapat dilihat pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Hasil Pengujian XRD *Limestone*

Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *JCPDS Card*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada limestone adalah *Calcite* (CaCO<sub>3</sub>).

Setelah mengetahui fasa dari limestone, selanjutnya limestone diuji EDX untuk mengetahui komposisi yang terdapat



pada limestone. Sehingga, didapatkan data komposisi limestone seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

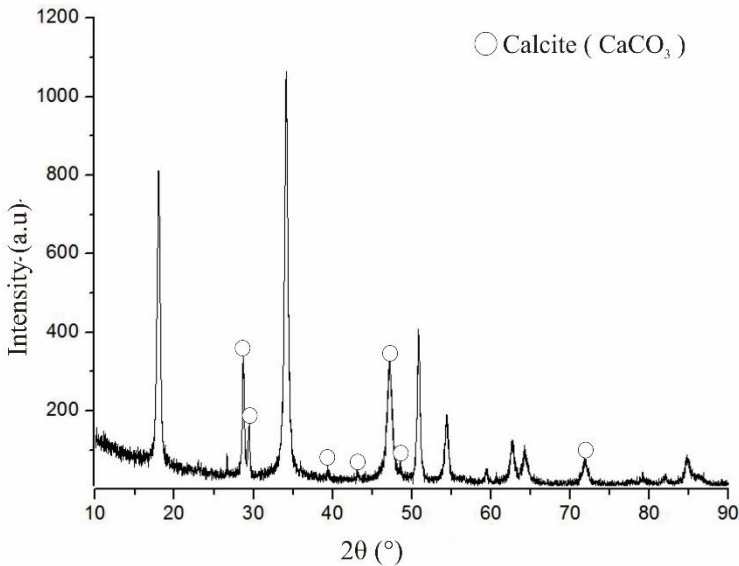
**Tabel 4.4** Hasil Pengujian EDX *Limestone*

No	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1	Karbon	C	0,81
2	Oksigen	O	22,44
3	Aluminium	Al	0,513
4	Silika	Si	0,427
5	Iridium	Ir	2,337
6	Kalsium	Ca	65,367
7	Ytterbium	Yb	8,117

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa limestone memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi, yaitu 65,36 %. Dari kandungan Ca tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *limestone* bukan *dolostone* atau dolomit. Dari segi proses aglomerasi, Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaCO}_3$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

#### 4.5 Karakteristik Quicklime

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa quicklime yang berasal dari Tuban. Quicklime telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari quicklime dapat dilihat pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Hasil Pengujian XRD *Quicklime*

Pengujian XRD dari quicklime menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *JCPDS Card* dari aplikasi Match!2 96-900-0096. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada quicklime. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada *quicklime* tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada *quicklime* adalah *Calcite* (CaCO<sub>3</sub>).

Setelah mengetahui fasa dari quicklime, selanjutnya batu kapur diuji EDX untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada batu kapur. Sehingga, didapatkan data komposisi quicklime seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.



**Tabel 4.5** Hasil Pengujian EDX *Quicklime*

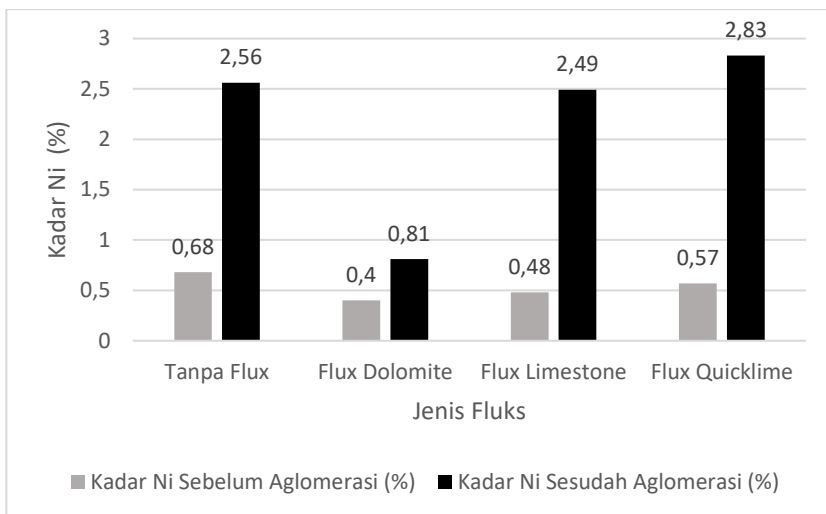
No	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1	Karbon	C	2,86
2	Oksigen	O	28,417
3	Aluminium	Al	0,793
4	Silika	Si	0,536
5	Iridium	Ir	1,713
6	Kalsium	Ca	59,143
7	Ytterbium	Yb	6,54

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Ca yang cukup tinggi, yaitu 59,143 %. Dari kandungan Ca tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *quicklime* bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, Ca yang membentuk senyawa CaO akan membantu proses dengan cara menyediakan gas CO<sub>2</sub> untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8.

#### **4.6 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Kadar Ni-Fe**

##### **4.6.1 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Proses Aglomerasi**

Variasi jenis fluks yang digunakan akan mempengaruhi pula kadar unsur Ni pada briket hasil proses aglomerasi. Pengaruh variasi jenis fluks terhadap kadar Ni dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi

Dari Gambar 4.5 kadar Ni pada briket hasil proses aglomerasi dengan variasi tanpa fluks diperoleh kadar Ni sebesar 2,56 % dengan kenaikan sebesar 1,88 % dari kadar Ni awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Seperti halnya pada kadar Fe, meskipun tanpa adanya fluks sebagai penyedia  $\text{CO}_2$  pada reaksi Boduard yang berperan dalam menghasilkan gas CO sebagai agen reduktor untuk mereduksi Besi Hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , kadar Ni ini meningkat karena kadungan *moisture* dan *volatile matter* dalam batu bara dan nikel laterit hilang. *Volatile Matter* yang hilang pada nikel laterit umumnya disebut dengan *loss on ignition*, zat yang hilang yaitu berupa gugus OH pada reaksi dekomposisi *Goethite* menjadi Hematit yang terjadi pada temperature 700 °C (Tyroler & Landolt, 1998).



Briket hasil proses aglomerasi dengan variasi fluks berupa dolomit diperoleh kadar Ni sebesar 0,81% dengan kenaikan sebesar 0,41% dari kadar Ni awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Peningkatan kadar Ni yang rendah pada briket variasi fluks dolomit dikarenakan adanya MgO yang terbentuk dari dekomposisi termal pada dolomit. Dimana MgO akan menyebabkan fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tidak dapat menjadi fasa liquid pada temperatur reduksi. Disisi lain, fasa *liquid* yang sedikit dapat meningkatkan *solid* difusi, *solid* difusi yang diharapkan yaitu Ni dapat bersubstitusi dengan atom Fe ke dalam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Karena itu dengan adanya MgO dapat menurunkan kadar Ni (Fan, et al. 2010). Sedangkan pada briket hasil aglomerasi dengan variasi fluks berupa fluks limestone dan fluks quicklime diperoleh kadar Ni sebesar 2,49% dengan kenaikan sebesar 2,01% dan kadar Ni sebesar 2,83% dengan kenaikan sebesar 2,26% dari kadar Ni awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Kenaikan kadar Ni pada briket dengan fluks limestone dan quicklime karena adanya CaO yang cukup banyak hasil dari dekomposisi termal senyawa  $\text{CaCO}_3$  pada limestone dan quicklime. Dengan kadar CaO pada limestone sebesar 91,4508% dan kadar CaO pada quikclime sebesar 84,43%. Dengan meningkatnya CaO maka akan meningkatkan reaksi reduksi dari NiO pada nikel laterit dengan cara meningkatkan energi aktivasinya. CaO berperan mengikat  $\text{SiO}_2$  yang berikatan dengan NiO ( $\text{CaO} + 2\text{NiO} \cdot \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{NiO}$ ). NiO yang telah terputus ikatannya dengan SiO akan tereduksi menjadi Ni yang nantinya akan bersubstitusi dengan atom Fe kedalam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  maupun *calcium ferrite* ( $\text{Ca}_2(\text{Ni,Fe})_2\text{O}_5$ ). Peningkatan kadar Ni yang cukup tinggi pada briket variasi fluks quicklime adanya kadar Ca yang terdapat pada briket quicklime lebih banyak sebesar 27,40% dari pada

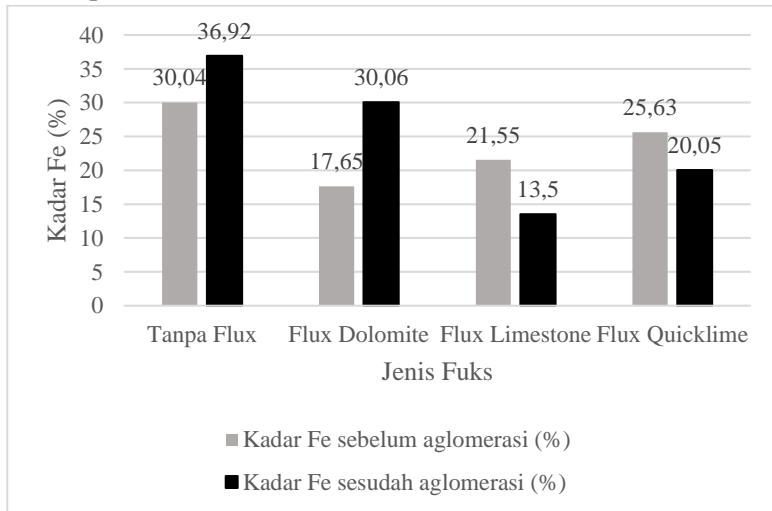




kadar Ca pada briket limestone 25,45% , Ca berperan dalam proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit, yang mana CaO dapat meningkatkan fasa nikel dengan cara Kalsium Oksida akan meningkatkan aggregasi dari Fe-Ni sehingga kadar Ni akan meningkat (Rodrigues 2013).

#### **4.6.2 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Proses Aglomerasi**

Pengaruh variasi jenis fluks terhadap kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Fe dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi

Dari Gambar 4.5 kadar Fe pada briket hasil proses aglomerasi dengan variasi tanpa fluks diperoleh kadar Fe sebesar 36,92 % dengan kenaikan sebesar 6,84 % dari kadar Fe



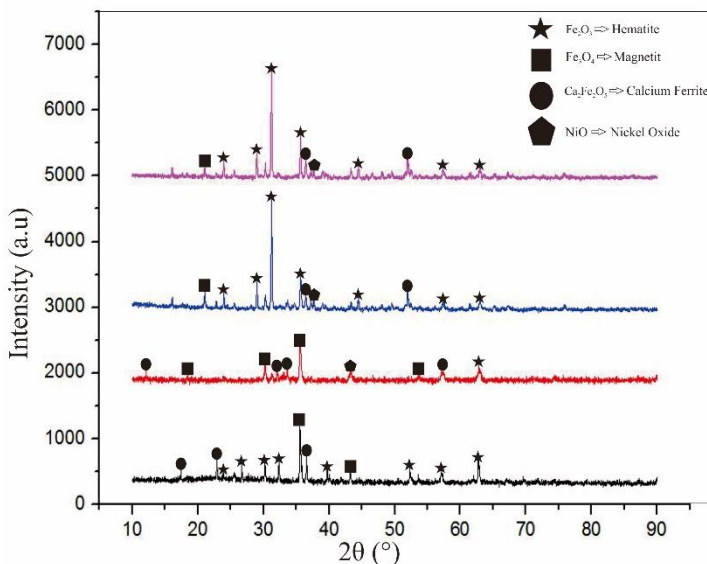
awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Meskipun tanpa adanya fluks sebagai penyedia  $\text{CO}_2$  pada reaksi Boduard yang berperan dalam menghasilkan gas CO sebagai agen reduktor untuk mereduksi Besi Hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , kadar Fe ini meningkat karena kadungan *moisture* dan *volatile matter* dalam batu bara dan nikel laterit hilang. *Volatile Matter* yang hilang pada nikel laterit umumnya disebut dengan *loss on ignition*, zat yang hilang yaitu berupa gugus OH pada reaksi dekomposisi *Goethite* menjadi Hematit yang terjadi pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  (Tyroler & Landolt, 1998).

Briket hasil proses aglomerasi dengan variasi fluks berupa dolomit diperoleh kadar Fe sebesar 30,66 % dengan kenaikan sebesar 12,41 % dari kadar Fe awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Sedangkan pada briket hasil aglomerasi dengan variasi fluks berupa limestone diperoleh kadar Fe sebesar 13,5 % dengan penurunan sebesar 8,05 % dari kadar Fe awal dalam briket sebelum proses aglomerasi. Kemudian pada briket hasil aglomerasi dengan variasi fluks berupa quicklime diperoleh kadar Fe sebesar 20,05 % dengan penurunan sebesar 5,58 %. Menunjukkan bahwa perubahan penurunan kadar Fe yang tertinggi yaitu dengan menggunakan fluks limestone, sedangkan penurunan kadar Fe yang terendah yaitu dengan menggunakan fluks quicklime. Penambahan Natrium sulfat diharapkan dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS sesuai reaksi (2.33) dan (2.34), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat.



#### 4.7 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Fasa dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi

Identifikasi fasa dari hasil aglomerasi briket nikel laterit limonit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$   $10 - 90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1.54056 \text{ \AA}$ . Sampel hasil proses aglomerasi yang diuji XRD yaitu briket yang telah diaglomerasi dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi jenis fluks berupa dolomit, limestone, quicklime dan tanpa fluks sebagai variasi control. Selanjutnya hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan aplikasi Match!3.



**Gambar 4.7** Hasil Pengujian XRD Briket Hasil Proses Aglomerasi : (a)Tanpa Fluks, (b)Fluks Dolomit, (c)Fluks Limestone, (d)Fluks Quicklime



Pada briket hasil proses aglomerasi seperti pada Gambar 4.6 fasa-fasa yang teridentifikasi ditunjukkan dengan Tabel 4.10 sebagai berikut

**Tabel 4.6** Identifikasi Fasa pada Briket Hasil Proses Aglomerasi

Fasa	Rumus Kimia	PDF Number
<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	96-152-8613 96-400-2384
<i>Magnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	96-900-5814 96-230-0617 96-153-9748
<i>Calcium Ferrite</i>	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	96-210-6287 96-901-4765
<i>Nickel Oxide</i>	$\text{NiO}$	96-101-0096

#### 4.7.1 Analisa hasil XRD Briket Tanpa Fluks

Pada briket variasi tanpa fluks, menunjukkan fasa yang terbentuk seperti yang terlihat pada Gambar 4.6 adalah fasa *Hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pada puncak  $2\theta$   $23.89^\circ$ ,  $26.66^\circ$ ,  $30.18^\circ$ ,  $32.33^\circ$ ,  $40.06^\circ$ ,  $41.81^\circ$ ,  $52.29^\circ$ ,  $62.95^\circ$ ,  $71.78^\circ$ ,  $74.31^\circ$  dan terdapat fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$   $35.54^\circ$ ,  $43.18^\circ$ ,  $53.65^\circ$ . *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 96-152-8613 (*Hematite*) dan 96-900-5184 (*Magnetite*)

Pada hasil pengujian XRD briket tanpa fluks, puncak tertingginya maupun puncak yang lainnya adalah fasa hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), yang menunjukkan bahwa belum terjadinya proses reduksi dikarenakan tidak adanya penyedia  $\text{CO}_2$  yang berperan



dalam reaksi boduard untuk menghasilkan reduktor gas CO yang dapat mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### 4.7.2 Analisa hasil XRD Briket Fluks Dolomite

Pada briket variasi fluks berupa dolomit, menunjukkan fasa yang terbentuk seperti yang ada di Gambar 4.8 adalah fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$   $18.38^\circ$ ,  $30.23^\circ$ ,  $35.54^\circ$ ,  $35.66^\circ$ ,  $37.28^\circ$ ,  $53.71^\circ$ ,  $74.37^\circ$  dan fasa *Calcium Ferrite* ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) pada puncak  $2\theta$   $12.08^\circ$ ,  $32.11^\circ$ ,  $33.13^\circ$ ,  $33.61^\circ$ ,  $57.37^\circ$  dan fasa *Nickel Oxide* (NiO) pada puncak  $2\theta$   $43.31^\circ$ . *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 96-230-0617 (*Magnetite*), 96-901-4765 (*Calcium Ferrite*), dan 96-101-0096 (*Nickel Oxide*).

Pada hasil pengujian XRD briket dengan variasi fluks berupa dolomit, puncak tertingginya adalah fasa Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), yang menunjukkan bahwa telah terjadinya proses reduksi hematit menjadi magnetit seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.3.

Dapat dikatakan telah terjadi reduksi dimana fasa hematit telah tereduksi hingga fasa magnetit. Apabila melihat dari hasil briket limestone dan quicklime, perbedaan antara fluks dolomit dengan fluks limestone maupun quicklime yaitu terletak pada kandungan MgO hasil dekomposisi termal pada dolomit. Kandungan MgO inilah yang berperan dalam reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit). MgO pada dolomit dapat menurunkan *strength* dari briket, penurunan *strength* dari briket dikarenakan terbentuknya magnetit pada briket. Dengan semakin banyaknya MgO yang diberikan, akan semakin meningkatkan pembentukan fasa magnetit dikarenakan MgO bereaksi dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  membentuk  $(\text{Fe,Mg})_3\text{O}_4$  (El-Hussiny, et



al. 2016). Disisi lain, MgO juga berperan dalam menekan pembentukan fasa *calcium ferrite*, semakin banyak MgO yang ditambahkan, maka semakin sedikit fasa *calcium ferrite* yang terbentuk. Hal ini dapat terjadi karena  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bereaksi terlebih dahulu dengan MgO daripada dengan CaO untuk membentuk  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (*Calcium Ferrite*) (Gan, Fan and Chen 2015).

Selain fasa magnetit, terbentuk juga fasa *Calcium Ferrite*. Fasa ini merupakan fasa dominan kedua setelah fasa magnetit. Fasa ini mulai terbentuk pada basisitas 1,2. Fasa ini merupakan fasa yang baik untuk hasil aglomerasi. Fasa *Calcium Ferrite* ini memiliki kemampuan reduksi yang lebih tinggi daripada hematit, dimana kemampuan reduksi dari fasa *calcium ferrite* ini sebesar 80,3 %. Lebih besar bila dibandingkan dengan kemampuan reduksi dari Magnetit yang hanya sebesar 53,5 %. Dan juga fasa *calcium ferrite* ini memiliki *crushing strength* yang sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan magnetit, dimana nilai *crushing strength* dari fasa *calcium ferrite* ini sebesar 37 kg / mm<sup>2</sup> sedangkan nilai *crushing strength* dari fasa magnetit sebesar 36,9 kg / mm<sup>2</sup> (Gupta 2010). Hal ini menunjukkan bahwa dengan munculnya fasa *calcium ferrite* menjadikan produk aglomerasi memiliki kualitas yang lebih baik sebagai bahan umpan mini blast furnace. Menurut Crundwell (2011), salah satu karakteristik dari *feed material* memiliki *strength* yang baik, sebagai ketahanan *feed material* terhadap degradasi selama transportasi dan *handling* setelah proses aglomerasi. *Crushing strength* yang baik juga membuat produk aglomerat tidak mudah hancur saat dimasukkan ke dalam *Mini Blast Furnace* karena adanya impak, abrasi, kompresi, dan perubahan volume pada temperatur tinggi di *reducing atmosphere* (Babich, et al. 2008). (Apabila produk aglomerat hancur saat dimasukkan ke dalam *Mini Blast*



*Furnace* dan menjadikan ukuran produk aglomerat menjadi lebih kecil dari 5 mm, akan membuat produk aglomerat keluar dari *Mini Blast Furnace* menuju *Top Gas* karena terdorong oleh udara yang ditiupkan dari bawah *Mini Blast Furnace* oleh *blower* (Kalenga and Garbers-Craig 2010).

Terbentuknya *calcium ferrite* dikarenakan adanya CaO hasil dekomposisi termal dari dolomit, reaksi yang terjadi antara CaO dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  akan membentuk  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (Babich, et al. 2008). Selain itu, *calcium ferrite* akan terbentuk pada basisitas 1,2 dan mulai pada temperatur 1200 °C (Gan, Fan and Chen 2015).

#### 4.7.3 Analisa hasil XRD Briket Fluks Limestone

Pada briket variasi fluks berupa limestone, menunjukkan fasa yang terbentuk seperti yang ada di Gambar 4.8 adalah fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak 2 $\theta$  21.03, 31.20, 35.63, 53.76, 57.30, 63.03 dan fasa *Calcium Ferrite* ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) pada puncak 2 $\theta$  22.77, 36.37 dan fasa *Nickel Oxide* (NiO) pada puncak 2 $\theta$  37.18. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 96-153-9748 (*Magnetite*), 96-210-6287 (*Calcium Ferrite*), dan 96-101-0096 (*Nickel Oxide*).

Dari hasil pengujian XRD briket dengan variasi fluks berupa limestone, puncak tertingginya adalah fasa *Hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Fasa *Hematite* merupakan fasa yang dominan pada briket fluks limestone. Selain itu juga terdapat fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang sedikit. Menunjukkan bahwa belum terjadi reduksi maksimal dari  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Fasa *calcium ferrite* menjadi lebih banyak di banding dengan fluks dolomite, hal ini sebanding dengan penambahan CaO pada briket. Semakin meningkatnya Ca maka



pembentukan fasa *calcium ferrite* juga akan semakin meningkat (Gan, Fan and Chen 2015). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan. Bila dibandingkan dengan briket dolomit, penambahan fluks dolomit sebesar 87,85 gram untuk 100 gram bijih nikel laterit sedangkan penambahan fluks limestone pada briket limestone sebesar 47,5 gram untuk 100 gram bijih nikel laterit. Selain itu kadar CaO pada Limestone lebih besar bila dibandingkan dengan kadar CaO pada dolomit, dimana kadar CaO pada dolomit sebesar 25,21 % sedangkan kadar CaO pada Limestone sebesar 91,4508 %. Oleh karena itu fasa *calcium ferrite* yang terbentuk pada briket limestone hampir mendominasi seperti fasa *Hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang terbentuk.

Reaksi reduksi Nikel Oksida ( $\text{NiO}$ ) dapat dilihat dari persamaan (2.6). Namun demikian, logam nikel yang terbentuk dari reaksi reduksi nikel oksida tidak dalam bentuk logam bebas namun berada dalam bentuk *solid solution*. Terbentuknya senyawa  $\text{NiO}$  ini karena nikel memiliki karakteristik yang hampir sama dengan Fe seperti ukuran jari-jari atom yang hampir sama dan muatan yang sama, sehingga logam nikel mampu untuk berdifusi kedalam matrik Fe membentuk *substitutional solid solution*. (Suganta Handaru S. 2008)

#### 4.7.4 Analisa hasil XRD Briket Fluks Quicklime

Pada briket variasi fluks berupa limestone, menunjukkan fasa yang terbentuk seperti yang ada di Gambar 4.8 adalah fasa *Magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  21.04°, 23.95°, 30.25°, 31.18°, 35.61°, 44.44° dan fasa *Calcium Ferrite* ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) pada puncak  $2\theta$  32.18°, dan 51.95°. dan fasa *Nickel Oxide* ( $\text{NiO}$ ) pada puncak  $2\theta$  37.16°, dan 43.31°. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 96-153-9748





(*Magnetite*), 96-210-6287 (*Calcium Ferrite*), dan 96-101-0096 (*Nickel Oxide*).

Pada hasil pengujian XRD fluks quicklime, puncak tertingginya maupun puncak yang lainnya adalah fasa *Hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Hal ini terjadi dikarenakan kadar Ca pada briket fluks quicklime yang cukup banyak dan juga lebih banyak daripada briket fluks dolomit maupun briket fluks limestone. Semakin meningkatnya Ca maka pembentukan fasa *calcium ferrite* juga akan semakin meningkat karena CaO yang terbentuk dari dekomposisi quicklime bereaksi dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  membentuk  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (Gan, Fan and Chen 2015). Hal ini didukung dengan hasil pengujian EDX terhadap kadar unsur pada hasil proses aglomerasi (Tabel 4.9), dimana kadar Ca tertinggi yang terdapat pada briket fluks quicklime sebesar 27,90 %. Kadar Ca pada briket fluks quicklime jauh lebih tinggi daripada kadar Ca pada briket fluks dolomit yang sebesar 9,70 % maupun pada briket fluks limestone sebesar 25,44 %.

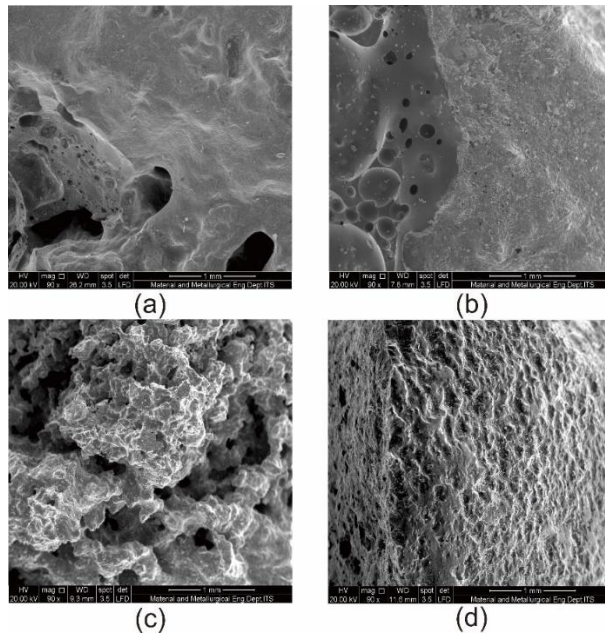
Terbentuknya fasa *calcium ferrite* pada briket quicklime merupakan sebuah keuntungan yang sangat bagus. Adanya calcium ferrite dapat meningkatkan kualitas dari produk aglomerasi dikarenakan calcium ferrite meningkatkan kekuatan serta reduksibilitas dari briket (Gupta 2010). Hal ini dapat membuat proses pada *Mini Blast Furnace* akan semakin efisien (Bolukbasi, et al. 2013).

#### **4.8 Pengaruh Variasi Jenis Fluks Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi**

Penggunaan jenis fluks yang bervariasi dalam proses Aglomerasi bijih nikel laterit tentunya akan mempengaruhi morfologi dari briket hasil produk proses aglomerasi. Untuk



mengetahui morfologi dari produk hasil proses aglomerasi perlu dilakukan pengujian. Sampel hasil proses aglomerasi diuji menggunakan SEM dengan perbesaran 90×, sampel yang diuji yaitu briket yang telah diaglomerasi dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi jenis fluks berupa dolomite, limestone, dan quicklime.



**Gambar 4.8** Morfologi Perbesaran 90x Briket Hasil Aglomerasi dengan Fluks: (a) Tanpa Fluks, (b) Dolomit, (c) Limestone, (d) Quicklime

Jika dilihat dari hasil pengujian SEM untuk melihat morfologi pada briket hasil proses aglomerasi. Terlihat perbedaan morfologi antara briket dengan tanpa fluks dan juga variasi fluks dolomite, limestone, quicklime,. Pada briket



dengan variasi fluks dolomit terlihat tidak ada nya pori. Sedangkan pada briket tanpa fluks memiliki pori namun sangat sedikit bila dibandingkan dengan briket variasi fluks limestone dan quicklime. Dan pada briket dengan variasi fluks limestone memiliki pori yang besar dan terbanyak bila dibandingkan dengan yang lainnya. Di sisi lain, pori ini berperan penting dalam proses *smelting* menggunakan *Mini Blast Furnace*. Pori ini dapat menaikkan sifat permeabilitas suatu ore. Jika dilihat dari fasa yang terbentuk pada briket dengan variasi fluks dolomit, fasa yang dominan adalah Magnetit. Sedangkan fasa *calcium ferrite* yang terbentuk sedikit. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya  $MgO$ , maka *calcium ferrite* yang terbentuk akan semakin sedikit. Jika dilihat dari referensi jurnal, semakin banyak fasa magnetit yang terbentuk, maka pori yang terbentuk pada aglomerat akan semakin kecil (Gan, Fan and Chen 2015). Sehingga briket dengan variasi fluks berupa dolomit memiliki permeabilitas paling rendah.

Hasil pengujian SEM pada briket dengan variasi fluks limesone dan quicklime menunjukkan terbentuknya pori pada morfologi aglomerat. Hal ini dikarenakan tidak adanya  $MgO$  yang akan menekan pembentukan fasa magnetit. Akan tetapi meningkatkan pembentukan fasa *calcium ferrite*. Fasa *calcium ferrite* akan meningkat bila  $CaO$  meningkat. Dan semakin meningkatnya fasa *calcium ferrite*, maka pori yang terbentuk pada produk aglomerat juga akan semakin banyak. (Gan, Fan and Chen 2015).

Sehingga dari hasil pengujian SEM untuk melihat morfologi pada briket hasil proses aglomerasi, dapat dilihat bahwa pori terbesar dan terbanyak diperoleh saat menggunakan fluks limestone. Maka dari segi permeabilitas, briket dengan variasi fluks limestone yang memiliki permeabilitas paling



tinggi. Sedangkan briket dengan variasi fluks dolomit yang memiliki sifat permeabilitas paling rendah.

#### 4.9 Pengaruh *Shatter Index* Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi

Pengujian uji tekan ini menggunakan metode *shatter index*. *Shatter index* adalah pengujian daya tahan briket terhadap benturan yang dijatuhkan pada ketinggian 2 meter.

Hasil pengujian *shatter index*

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian *Shatter Index*

Jenis Briket	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Partikel yang hilang (%)
Dolomit	9	7	28,57
Limestone	7,5	6,5	15,38
Quicklime	8	7	14,3
Tanpa fluks	7	6	16,6

Apabila partikel yang hilang terlalu banyak, berarti briket yang dibuat tidak tahan terhadap benturan. (Aquinho Gandhi, 2009) jadi dari hasil praktek uji tekan menggunakan metode *Shatter Index* maka fluks dolomit memiliki nilai kehilangan partikel terbesar sebesar 28,57% dan quicklime 14,3%, sehingga kekuatan fluks quicklime lebih baik daripada fluks dolomite, limestone, dan tanpa fluks.

Ditemukan bahwa penambahan sejumlah kecil CaO sangat efektif dalam meningkatkan kekuatan tekan pada briket yang sudah di proses reduksi. Briket tersebut mencakup sejumlah Ni dan Cr, jadi perlu untuk menyelidiki



pengaruh unsur-unsur ini pada sifat baja yang diproduksi dengan menggunakan pelet secara parsial.

Uji *shatter* dimana pelet di reduksi pada temperatur 1300 ° C dengan basisitas yang bervariasi ( $\text{CaO} / \text{SiO}_2$ ) dalam lima tahap 0,05, 0,1, 0,2, 0,4 dan 0,6 dilakukan. Hubungan antara basisitas dan kekuatan dan porositas briket yang di reduksi yang diperoleh dari pengujian. Angka tersebut menunjukkan bahwa nilai maksimum 406 kg / p diperoleh pada nilai dasar 0,2. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sejumlah kecil batu kapur sangat meningkatkan kekuatan briket yang dipekat. Penembakan pada suhu 1300 ° C memberikan briket dengan kekuatan yang cukup, namun porositas yang berkaitan dengan reduktifitasnya rendah. (Nobuyuki Imanishi 1987)

Ketika banyak Ca yang di masukkan kedalam briket maka nilai kekuatannya semakin baik akan tetapi porositas yang berkaitan dengan reduktifitasnya rendah. Quicklime memiliki nilai kekuatan tekan paling bagus dikarenakan Nilai Ca nya paling tinggi dibanding dengan limestone, dolomit dan tanpa fluks.



---

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan berbagai jenis fluks mempengaruhi kadar Fe dalam briket hasil proses aglomerasi. Penurunan kadar Fe tertinggi didapatkan saat briket menggunakan fluks limestone, dengan penurunan kadar Fe sebesar 17,26 %. Penggunaan berbagai jenis fluks juga mempengaruhi kadar Ni dalam briket hasil proses aglomerasi. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat briket menggunakan fluks quicklime, dengan peningkatan kadar Ni sebesar 2,26 %.
2. Penggunaan berbagai jenis fluks juga mempengaruhi dari morfologi yang terbentuk pada briket hasil proses aglomerasi. Dari segi permeabilitas fluks limestone memiliki permeabilitas yang paling baik bila dibandingkan fluks dolomit, quicklime, dan tanpa fluks.
3. Berdasarkan hasil Uji ketahanan briket terhadap benturan yang dilakukan menggunakan cara *Shatter Index* yang punya nilai kekuatan paling bagus adalah quicklime.
4. Berdasarkan hasil dari peningkatan kadar Ni, penurunan kadar Fe, sifat porositas dan permeabilitas, dan juga uji ketahanan briket terhadap benturan (*Shatter Index*) bahwa fluks yang paling baik adalah fluks limestone.



## **5.2 Saran**

1. Melakukan penelitian mendalam terhadap penggunaan fluks.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan additives selain Natrium Sulfat.
3. Melakukan penelitian tentang pembentukan pori pada produk aglomerat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Widi, Zulfiadi Zulhan, Achmad Shofi, Kusno Isnugroho, Fajar Nurjaman, and Erik Prasetyo. **"Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace."** *Prosiding InSINas*, 2012: 70.
- Andik Yudiarto (2013), Carbon Steels (C-Mn Steels). <http://extractivemetallurgy.blogspot.com>
- Babich, A, D Senk, H.W Gudenau, and K.Th Mavrommatis. ***Ironmaking*** . Aachen: Institut fur Eisenhutenkunde der RWTH Aachen, 2008.
- Barkas J., **Drivers and risks for nickel demand, ih International China Nickel Conference**, 2010, Shangai, China.
- Bolukbasi, O Saltuk, Baran Tufan, Turan Batar, and Akin Altun. **"The Influence of Raw Material Composition on the Quality of Sinter."** *Nature and Science* , 2013: 37-47.
- Bogdandy, L Von, and H.J Engell. ***The Reduction of Iron Ore***. Springer-Verlag, 1971.
- Campbell, F.C. ***Elements of Metallurgy and Engineering Alloys***. New York: ASM International, 2008.
- Choi, Ung-Kyu, Ok-Hwan Lee, and Young-Chan Kim. **"Effect of Calcinated Oyster Shell Powder on Growth, Yield, Spawn Run, and Primordial Formation of King Oyster Mushroom."** *Molecules*, 2011: 2313-2320.
- Crundwell, Frank K. ***Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt and Platinum-Group Metals***. Amsterdam: Elsevier Ltd, 2011.
- Dalvi, Ashok D, W Gordon Bacon, and Robert C Osborne. **"The Past and The Future of Nickel Laterites."** *International Convention* , 2004: 1-7.



- El-Hussiny, N.A, I.A Nafeaa, M.G Khalifa, S.S Abdel-Rahim, and M.E.H Shalabi. **"Sintering and Reduction of Pellets of El-Baharia Iron Ore with Dolomite by Hydrogen."** *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2016: 66-74.
- Fan, Xiao-Hui, Gan Min, Jiang Tao, Yuan Li-shun, and Chen Xu-Ling. **"Influence of Flux Additives on Iron Ore Oxidized Pellets."** *Natural Science*, 2010: 733-737.
- Fathoni, M. W., & Mubarak, M. Z. (2015). Studi Perilaku Pelindian Bijih Besi Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat. *Majalah Metalurgi*, 115-116.
- Gan, Min, Xiaohui Fan, and Xuling Chen. **"Calcium Ferrite Generation During Iron Ore Sintering — Crystallization Behavior and Influencing Factors."** *Natural Science*, 2015: 50-62.
- Geerdes, Maarten, Hisko Toxopeus, and Cor van der Vliet. *Modern Blast Furnace Ironmaking an Introduction*. Amsterdam: IOS Press BV, 2009.
- Gandhi, Aquino B., 2010. **Pengaruh Jumlah Campuran Perekat Terhadap Karakteristik Briket Arang Tongkol Jagung**. *Jurnal Profesional*, Vol. 8, No. 1. ISSN: 1693-3745.
- Gupta, R.C. *Theory And Laboratory Experiments In Ferrous Metallurgy*. New Delhi: PHI Learning Private Ltd, 2010.
- Handaru .S, Suganta. **"Recovery Nikel Dari Bijih Limonite Tereduksi Oleh Leaching Amonium Karbonat"**. Jakarta:Universitas Indonesia.2008.
- Jiang, M., Sun, T., Liu , Z., Kou, J., Liu, N., & Zhang, S. (2013). **Mechanism of Sodium Sulfate in Promoting Selective Reduction of Nickel Laterite Ore during Reduction Roasting Process**. *International Journal of Mineral Processing*, 32-33.

- Kalenga , M.K, and A.M Garbers-Craig. **"Investigation into how magnesia, silica, and alumina contents of iron ore sinter influence its mineralogy and properties."** *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2010: 447-455.
- Kato, Takahiro, kenji Murakami, and Katsuyasu Sugawara. **"Carbon Reduction of Gypsum Produced from Flue Gas Desulfurization."** *Chemical Engineering Transactions* , 2012: 807-808.
- Li, Shoubao. **"Study of Nickeliferrous Laterite Reduction."** 1999: 1-8.
- Noviyanti, Jasruddin, and Eko Hadi Sujiono. **"Karakterisasi Kalsium Karbonat dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa."** *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 2015: 169-172.
- Noviyanti, Jasruddin, and Hadi Sujiono. **"Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa."** *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 2015: 169.
- Rodrigues, Filipe Manuel. **"Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore."** *Material Science*, 2013: 1-10.
- Supriadi. 2007. **Sistem Informasi Geografis**. USU Press. Medan.
- Takuda, M, H Yoshikoshi, and M Ohtano. **"Trans."** *ISIJ*, 1973: 350.
- Tyroler, G.P, and C.A Landolt. ***Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt***. New York: The Metallurgical Society, 1998.
- Yildirim, Halil, Hakan Morcali, Ahmet Turan, and Onuralp Yucel. **"Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores ."** *Ferronickel Production and Operation*, 2013: 237.

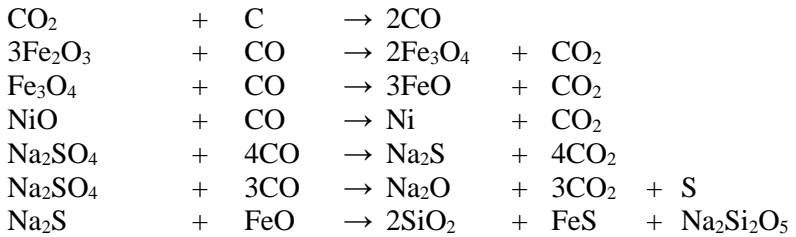
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Tanpa Fluks

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi laterit terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi Boudouard. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material

#### 1. Bijih Nikel Laterit

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung didalam bijih nikel laterit.

Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1.25	55.37	1.94	0.42	0.46	5.04	0.886	1.54

Dari data pengujian XRD, mineral-mineral kompleks yang terkandung dalam laterit diolah menjadi senyawa oksida, antara lain :



- Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Nikel oksida ( $\text{NiO}$ )

2. Batu bara

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35 %.

Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  diketahui dengan cara sebagai berikut :

- Berat  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{ Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{ Wt Fe} \\ &= \frac{159,69}{55,847} \times 55,37\% = 79,163 \%\end{aligned}$$

- Berat  $\text{NiO}$  dalam laterit

$$\begin{aligned}\% \text{ Wt } \text{NiO} &= \frac{\text{Mr } \text{NiO}}{\text{Ar Ni}} \times \% \text{ Wt Ni} \\ &= \frac{74,7094}{58,71} \times 1,25 \%\end{aligned}$$
$$= 1,59 \%$$

Dari perhitungan diperoleh presentase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 1000 gram ore maka terdapat

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 791,630 \text{ gram}$$

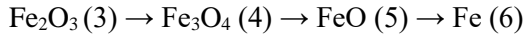
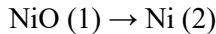
$$\text{NiO} = 15,906 \text{ gram}$$

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit

$$\begin{aligned}\text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa } \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{791,639}{159,69} \\ &= 4,95 \text{ mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NiO} &= \frac{\text{massa } \text{NiO}}{\text{Mr } \text{NiO}} \\ &= \frac{15,906}{74,7094} \\ &= 0,2129 \text{ mol}\end{aligned}$$

Dalam penelitian ini reduksi nikel oksida dan besi oksida pada laterit bertahap seperti berikut.



Dengan target reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100 \%$

reduksi  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 100 \%$

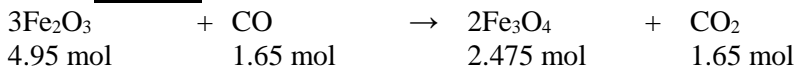
reduksi  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} = 100 \%$

reduksi  $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni} = 100 \%$

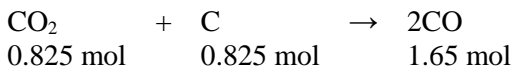
Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total briket untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C batu bara.

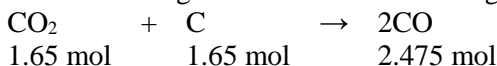
**a. Reaksi 1**



Reaksi Boduard



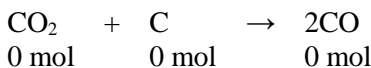
Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 1 dengan C batu bara



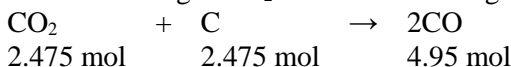
**b. Reaksi 2**



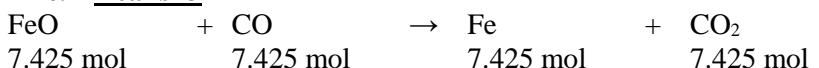
Reaksi Boduard



Reaksi gas  $\text{CO}_2$  hasil reaksi 2 dengan C batu bara

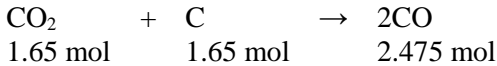


**c. Reaksi 3**

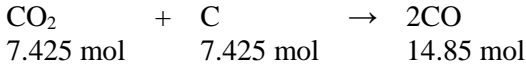




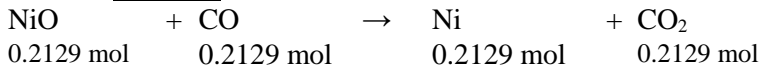
Reaksi Boduard



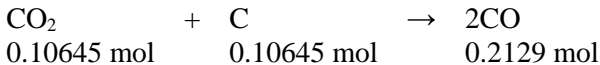
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara



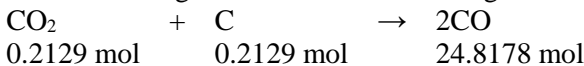
**d. Reaksi 4**



Reaksi Boduard

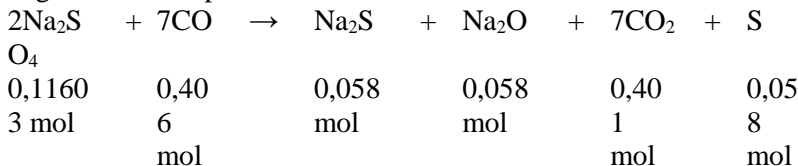


Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara

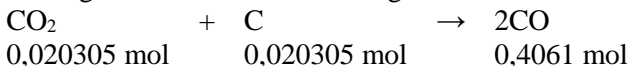


**e. Reaksi 5**

Semisal diketahui kebutuhan Natrium sulfat sebesar 16,581225 gram, maka diperoleh sebesar 0,116031 mol.



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 4 dengan C batubara



**Perhitungan Kebutuhan Batubara**

$$\text{Total mol C} = 0.825 + 1.65 + 0 + 2.475 + 1.65 + 7.425 + 0.10645 + 0.2129 = 14.34435 \text{ mol}$$

$$\text{Massa C yang dibutuhkan} = \text{total mol C} \times \text{Ar C}$$



$$\begin{aligned} &= 14.34435 \text{ mol} \times \\ &12.01115 = 172.292 \\ &\text{gram} \\ \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 172.292 \\ &= 406.828 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pembulatan jumlah batu bara dijadikan sebesar 407 gram.

#### Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total briket.

$$\begin{aligned} \text{Massa total briket tanpa fluks} &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} \\ &= 1000 \text{ gram} + 407 \text{ gram} \\ &= 1407 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 140.7 gram

#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 1000 gram, batu bara 407 gram, natrium sulfat 140.7 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 45.351 gram

***Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 1000 : 407 : 140,7 : 45.351.***

### **B. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks Dolomite Batu Kapur**

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.





Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	25.21
2.	Magnesium Oksida	MgO	24.23

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ )

Perhitungan Kebutuhan Fluks Dolomit

Mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran

$$\text{Basicity} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Menghitung basisitas ore

$$\text{Basisitas} = \frac{(0,19 + 1,957)}{(22,677 + 15,30)} = 0,056523$$

Sedangkan target basisitas briket adalah sebesar 1,2, sehingga diperlukan penambahan kapur sebesar 878,5232 gram untuk setiap 1000 gram ore, dengan factor safety maka menjadi 878,5.

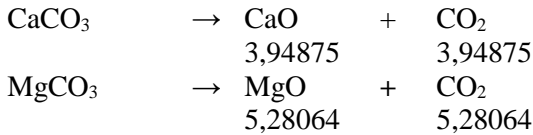
Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :



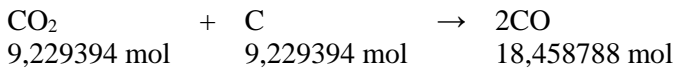
Batu kapur berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi Boduard yang akan menghasilkan gas reduktor CO, maka  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada dolomit perlu direaksikan dengan C pada batu bara, sehingga akan diberi penambahan batu bara pada briket variasi fluks dolomit.



Perhitungan jumlah gas CO<sub>2</sub>



Reaksi CO<sub>2</sub> hasil dekomposisi termal dolomit



Perhitungan Kebutuhan Batubara

Total mol C = 14.34435 mol (Jumlah Batu bara briket tanpa fluks) + 9.229394 mol = 23.573744 mol

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 23.573744 \text{ mol} \times 12.01115 \\ &= 283.150 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 283.150 \\ &= 668.595 \text{ gram} \end{aligned}$$

Karena safety factor batu bara dijadikan sebesar 669 gram.

Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total briket.

$$\begin{aligned} \text{Massa total briket tanpa fluks} &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} + \\ &\quad \text{massa dolomit} \\ &= 1000 \text{ gr} + 669 \text{ gr} + 878,5 \text{ gr} \\ &= 2,547.5 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 254.75 gram



#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 1000 gram, batu bara 669 gram, batu kapur 878,5 gram, natrium sulfat 254.75 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 84.0675 gram

***Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara : batu kapur :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 1000 : 669 : 878,5 : 254.75 : 84.0675.***

### **C. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks**

#### **Limestone**

##### Limestone

Dari data pengujian EDX, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam limestone yang diperoleh dari Tuban, Jawa Timur.

Hasil EDX Limestone

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	91,4508

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ )

#### Perhitungan Kebutuhan Fluks Limestone

Mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran

$$\text{Basicity} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

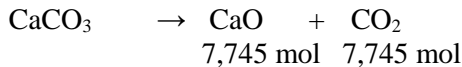


Menghitung basisitas ore

$$\text{Basisitas} = \frac{(0,19+1,957)}{(22,677 + 15,30)} = 0,056523$$

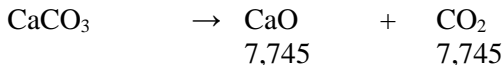
Sedangkan target basisitas briket adalah sebesar 1,2, sehingga diperlukan penambahan limestone sebesar 878,5232 gram untuk setiap 1000 gram ore, dengan factor safety maka menjadi 878,5.

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada limestone yaitu :

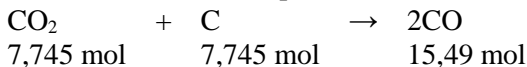


Limestone berperan sebagai penyedia gas CO<sub>2</sub> untuk reaksi Boduard yang akan menghasilkan gas reduktor CO, maka CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada limestone perlu direaksikan dengan C pada batu bara, sehingga akan diberi penambahan batu bara pada briket variasi fluks fluks limestone.

#### Perhitungan jumlah gas CO<sub>2</sub>



Reaksi CO<sub>2</sub> hasil dekomposisi termal limestone



#### Perhitungan Kebutuhan Batubara

Total mol C = 14.34435 mol (Jumlah Batu bara briket tanpa fluks) + 7,745 mol = 22,089935 mol

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 22,089935 \text{ mol} \times 12,01115 \\ &= 265,318 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Massa batu bara yang dibutuhkan} = \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C}$$



$$\begin{aligned} &= \frac{100}{42,35\%} \times 265,318 \\ &= 626,489 \text{ gram} \end{aligned}$$

Karena safety factor batu bara dijadikan sebesar 627 gram.

#### Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total briket.

$$\begin{aligned} \text{Massa total briket tanpa fluks} &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} + \\ &\quad \text{massa limestone} \\ &= 1000 \text{ gr} + 627 \text{ gr} + 878,5 \text{ gr} \\ &= 2,505.5 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 250,55 gram

#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

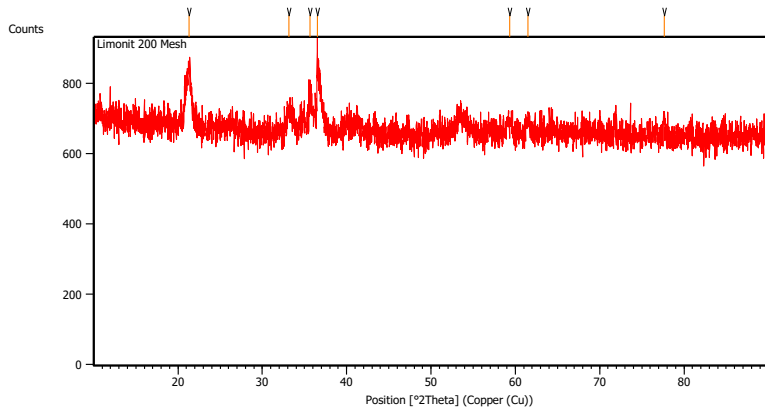
Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 1000 gram, batu bara 627 gram, batu kapur 878,5 gram, natrium sulfat 250,55 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 82,68 gram

***Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara : limestone :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 1000 : 627 : 878,5 : 250,55 : 82,68.***



## D. Hasil Pengujian

### Hasil Uji XRD Bijih Nikel Limonit

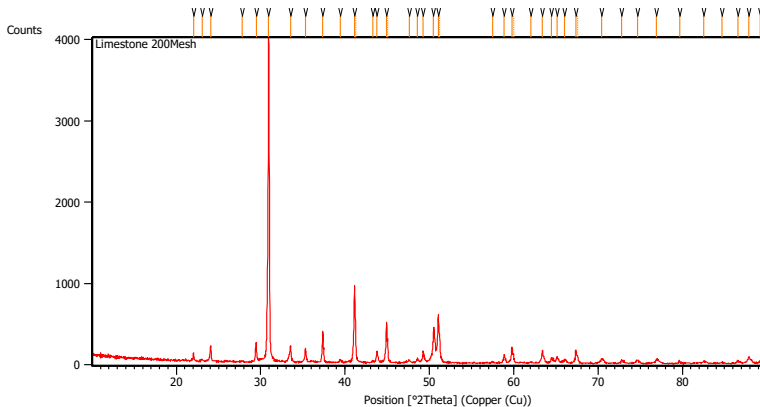


#### Peak List :

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3319	162.50	0.4684	4.16536	59.17
33.1447	60.69	0.5353	2.70290	22.10
35.6694	105.51	0.2007	2.51717	38.42
36.5204	274.63	0.0502	2.46044	100.00
59.3184	30.95	0.5353	1.55795	11.27
61.4627	34.32	0.5353	1.50864	12.50
77.6681	39.86	0.4015	1.22943	14.51



## Hasil Uji XRD Batu Kapur Dolomit



### **Peak List :**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0253	96.98	0.0836	4.03577	2.41
23.0640	20.57	0.2007	3.85633	0.51
24.0750	194.18	0.0669	3.69663	4.82
27.8354	10.58	0.2007	3.20519	0.26
29.4675	241.94	0.1171	3.03127	6.01
30.9404	4025.23	0.1004	2.89025	100.00
33.5214	198.52	0.0836	2.67338	4.93
35.2988	170.14	0.1004	2.54274	4.23
37.3602	380.36	0.0836	2.40704	9.45
39.4620	31.78	0.1338	2.28355	0.79
41.1198	943.84	0.1224	2.19342	23.45
41.2406	491.06	0.0612	2.19271	12.20
43.2661	21.03	0.1632	2.08945	0.52
43.7884	142.23	0.0816	2.06573	3.53
44.9227	494.58	0.1020	2.01617	12.29
45.0616	260.36	0.0612	2.01528	6.47

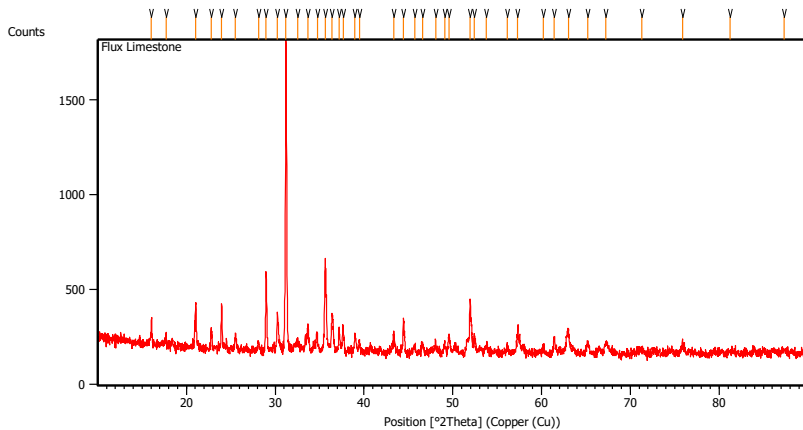


47.5962	35.20	0.1632	1.90897	0.87
48.5714	49.76	0.1224	1.87290	1.24
49.2485	133.08	0.0816	1.84872	3.31
50.4901	387.48	0.1428	1.80613	9.63
51.0620	566.64	0.1224	1.78724	14.08
51.2255	338.04	0.0612	1.78634	8.40
57.5178	15.27	0.2448	1.60104	0.38
58.8791	102.10	0.1224	1.56723	2.54
59.8041	196.15	0.1428	1.54518	4.87
59.9851	116.90	0.0612	1.54477	2.90
62.0630	12.17	0.4896	1.49425	0.30
63.4062	153.55	0.1020	1.46579	3.81
64.4703	62.17	0.1632	1.44414	1.54
65.1337	66.92	0.2448	1.43103	1.66
66.0429	53.28	0.1632	1.41351	1.32
67.3645	172.51	0.1428	1.38896	4.29
67.6030	82.52	0.1224	1.38808	2.05
70.4225	45.24	0.2448	1.33595	1.12
72.8225	38.38	0.1224	1.29772	0.95
74.6692	43.69	0.2856	1.27014	1.09
76.9099	47.27	0.2040	1.23862	1.17
79.6817	30.40	0.1632	1.20236	0.76
82.5618	31.60	0.3264	1.16756	0.79
84.6788	9.42	0.9792	1.14369	0.23
86.5982	28.35	0.1632	1.12320	0.70
87.8726	83.43	0.2856	1.11017	2.07
89.2212	28.87	0.4080	1.09685	0.72





## Hasil Uji XRD Limestone



### Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.0555	121.70	0.0502	5.52038	7.47
17.6932	65.37	0.1171	5.01295	4.01
21.0366	231.76	0.0669	4.22317	14.22
22.7782	116.47	0.0669	3.90406	7.15
23.9629	240.67	0.1004	3.71367	14.76
25.5119	78.47	0.1673	3.49158	4.81
28.1109	39.91	0.2007	3.17440	2.45
28.9824	418.90	0.0836	3.08090	25.70
30.2342	153.20	0.1004	2.95613	9.40

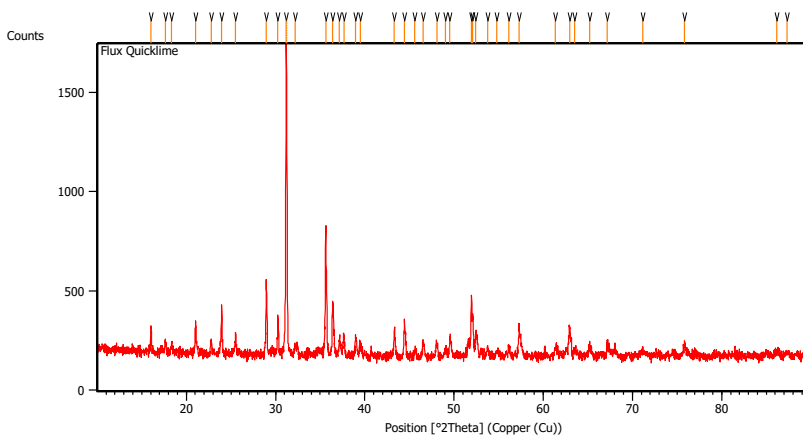


31.2025	1630.06	0.1171	2.86656	100.00
32.5236	56.46	0.2007	2.75309	3.46
33.6654	126.09	0.1338	2.66228	7.74
34.7562	77.83	0.1338	2.58118	4.77
35.6326	460.74	0.1673	2.51968	28.27
36.3784	184.75	0.1338	2.46972	11.33
37.1859	112.72	0.1338	2.41792	6.91
37.6494	132.09	0.1004	2.38921	8.10
38.9774	101.71	0.1004	2.31082	6.24
39.4792	49.92	0.1338	2.28260	3.06
43.3620	89.99	0.1338	2.08678	5.52
44.4336	153.64	0.1004	2.03891	9.43
45.6989	31.73	0.2007	1.98536	1.95
46.5826	45.48	0.2007	1.94974	2.79
48.0757	60.02	0.1004	1.89261	3.68
49.0742	43.52	0.2676	1.85642	2.67
49.5478	87.18	0.1673	1.83978	5.35
51.9498	289.11	0.0836	1.76022	17.74
52.4105	103.16	0.0836	1.74583	6.33
53.7692	34.89	0.2676	1.70488	2.14
56.1601	31.64	0.4015	1.63783	1.94



57.3068	100.39	0.2007	1.60776	6.16
60.2097	26.95	0.4015	1.53700	1.65
61.4362	87.04	0.1338	1.50923	5.34
63.0386	116.50	0.1338	1.47467	7.15
65.1911	74.61	0.1338	1.43109	4.58
67.2642	53.86	0.3346	1.39194	3.30
71.3089	20.89	0.6691	1.32260	1.28
75.9049	54.02	0.4015	1.25354	3.31
81.2195	6.49	0.8029	1.18441	0.40
87.3195	19.63	0.4015	1.11669	1.20

### **Hasil Uji XRD Quicklime**





Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.0443	124.76	0.0836	5.52422	7.96
17.6577	56.87	0.1338	5.02294	3.63
18.3612	44.77	0.2676	4.83204	2.86
21.0489	157.18	0.0836	4.22072	10.03
22.7979	62.03	0.1673	3.90072	3.96
23.9565	234.60	0.0502	3.71464	14.97
25.5211	97.98	0.1338	3.49035	6.25
28.9589	378.15	0.0502	3.08335	24.13
30.2535	199.63	0.0502	2.95429	12.74
31.1892	1567.35	0.1020	2.86539	100.00
31.2740	1033.91	0.0612	2.86491	65.97
32.1848	54.75	0.2448	2.77899	3.49
35.6182	582.31	0.1020	2.51858	37.15
36.4165	271.08	0.1836	2.46518	17.30
37.1656	85.98	0.2040	2.41720	5.49
37.6531	103.50	0.1632	2.38701	6.60
38.9917	94.58	0.2448	2.30809	6.03



---

39.5013	51.48	0.3264	2.27948	3.28
43.3171	134.54	0.1020	2.08711	8.58
44.4470	190.22	0.0816	2.03664	12.14
45.6223	36.04	0.2448	1.98687	2.30
46.5283	71.72	0.2856	1.95027	4.58
48.0832	62.56	0.2448	1.89077	3.99
49.0384	35.82	0.3264	1.85615	2.29
49.5418	92.74	0.1632	1.83846	5.92
51.9572	313.75	0.0816	1.75853	20.02
52.1070	211.35	0.1224	1.75383	13.48
52.4382	125.48	0.1632	1.74353	8.01
53.7687	49.19	0.2448	1.70348	3.14
54.8123	19.30	0.4896	1.67349	1.23
56.1707	33.88	0.2448	1.63620	2.16
57.2984	166.97	0.0612	1.60665	10.65
61.3639	39.69	0.3264	1.50958	2.53
62.9456	152.21	0.2040	1.47540	9.71
63.5399	29.27	0.4080	1.46303	1.87
65.2213	53.24	0.4080	1.42932	3.40
67.1635	57.40	0.1224	1.39263	3.66

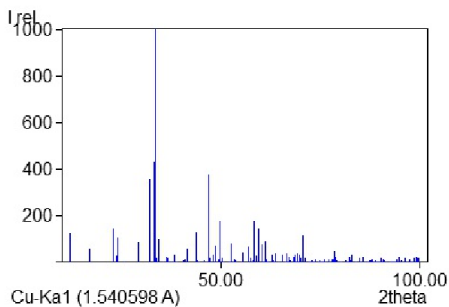
---



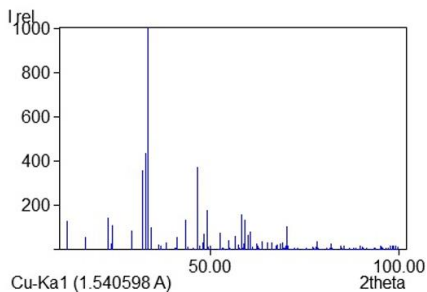
71.1857	16.60	0.9792	1.32349	1.06
75.8241	58.04	0.3264	1.25364	3.70
86.1593	25.70	0.6528	1.12779	1.64
87.3258	21.52	0.4896	1.11571	1.37

## E. JCPDS Card

### a. Calcium Ferrite ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) - 96-901-4765

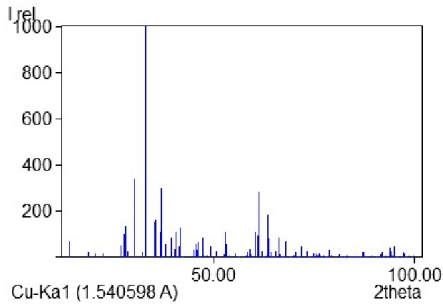


### b. Calcium Ferrite ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) - 96-210-6278

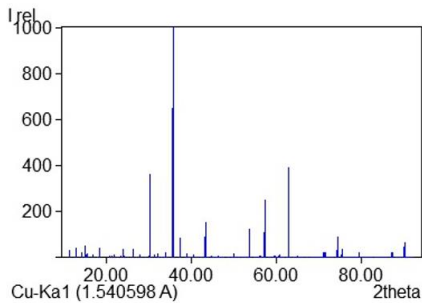




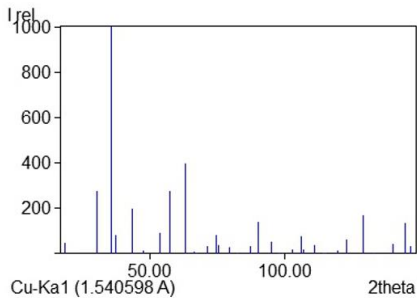
**c. Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - 96-400-2384**



**d. Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - 96-152-8613**

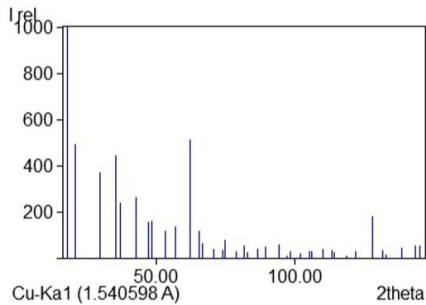


**e. Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) - 96-230-0617**

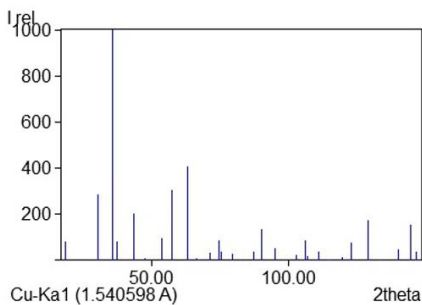




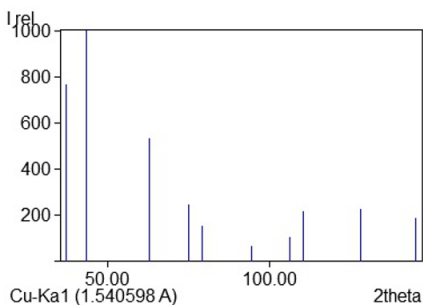
**f. Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) - 96-153-9748**



**g. Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) - 96-900-5814**



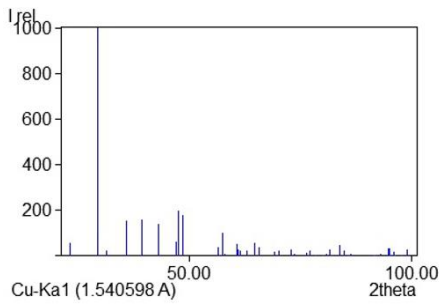
**h. Nickel Oxide ( $\text{NiO}$ ) - 96-101-0096**







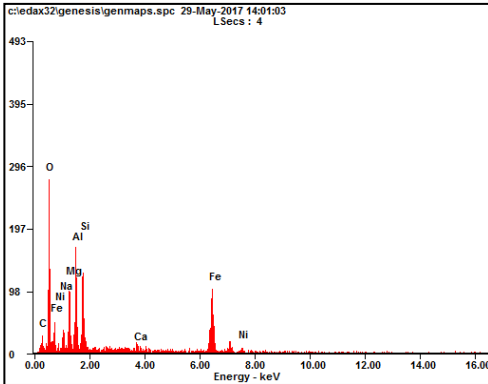
**i. Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) - 96-210-0993**





## Hasil Pengujian EDX

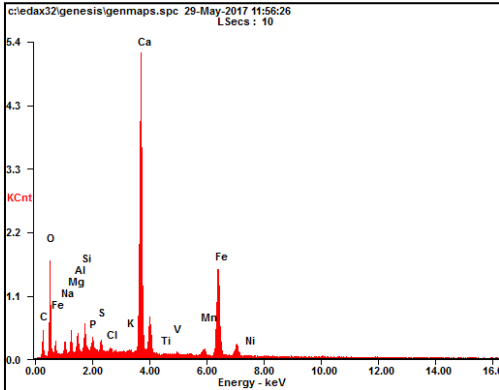
### a. Hasil EDX Briket Tanpa Fluks



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	05.78	11.89
<i>OK</i>	26.00	40.15
<i>NaK</i>	04.24	04.55
<i>MgK</i>	08.47	08.61
<i>AlK</i>	11.71	10.72
<i>SiK</i>	10.49	09.23
<i>CaK</i>	01.01	00.62
<i>FeK</i>	29.78	13.17
<i>NiK</i>	02.53	01.06
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



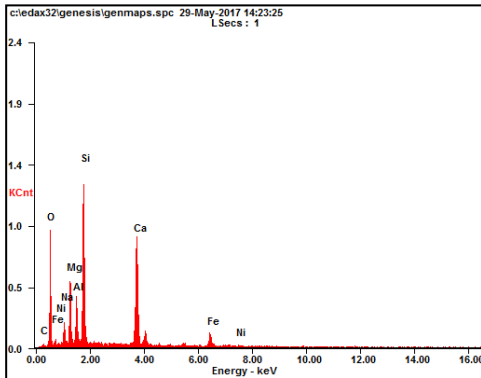
## b. Hasil EDX Briket Fluks Dolomit



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<b><i>CK</i></b>	03.47	08.64
<b><i>OK</i></b>	20.02	37.36
<b><i>NaK</i></b>	02.10	02.72
<b><i>MgK</i></b>	02.15	02.65
<b><i>AlK</i></b>	01.83	02.02
<b><i>SiK</i></b>	02.25	02.39
<b><i>PK</i></b>	01.14	01.10
<b><i>SK</i></b>	00.80	00.74
<b><i>ClK</i></b>	00.35	00.29
<b><i>KK</i></b>	00.26	00.20
<b><i>CaK</i></b>	32.19	23.98
<b><i>TiK</i></b>	00.00	00.00
<b><i>VK</i></b>	00.40	00.24
<b><i>MnK</i></b>	02.17	01.18
<b><i>FeK</i></b>	30.06	16.07
<b><i>NiK</i></b>	00.81	00.41
<b><i>Matrix</i></b>	Correction	ZAF



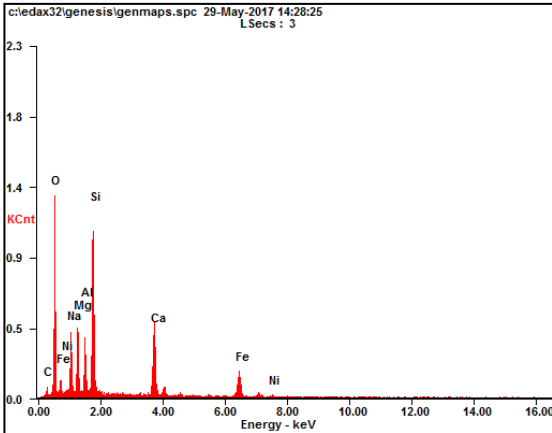
**c. Hasil EDX Briket Fluks Limestone**



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<b><i>CK</i></b>	01.20	02.41
<b><i>OK</i></b>	31.42	47.24
<b><i>NaK</i></b>	03.70	03.88
<b><i>MgK</i></b>	08.19	08.10
<b><i>AlK</i></b>	05.40	04.81
<b><i>SiK</i></b>	19.69	16.86
<b><i>CaK</i></b>	21.47	12.88
<b><i>FeK</i></b>	07.59	03.27
<b><i>NiK</i></b>	01.33	00.55
<b><i>Matrix</i></b>	Correction	ZAF



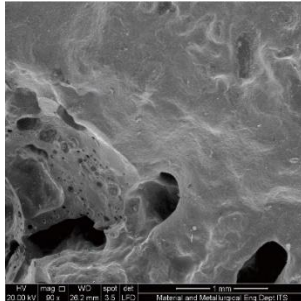
**d. Hasil EDX Briket Fluks Quicklime**



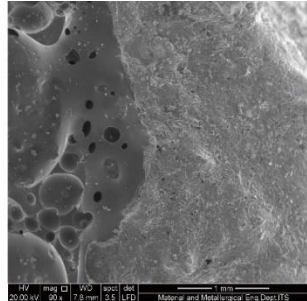
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.98	03.78
<i>OK</i>	35.43	50.74
<i>NaK</i>	07.69	07.66
<i>MgK</i>	07.56	07.13
<i>AlK</i>	05.17	04.39
<i>SiK</i>	17.83	14.54
<i>CaK</i>	11.10	06.35
<i>FeK</i>	11.86	04.86
<i>NiK</i>	01.37	00.54
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



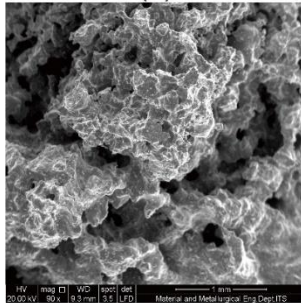
## B. Hasil Pengujian SEM



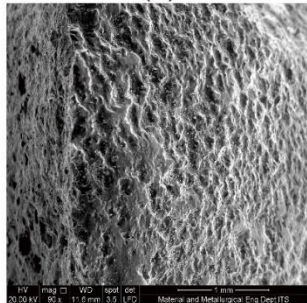
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar** Morfologi Perbesaran 90x Briket Hasil Aglomerasi dengan Fluks: (a) Tanpa Fluks, (b) Dolomit, (c) Limestone, (d) Quicklime



### C. Foto Dokumentasi



**Gambar** Proses Aglomerasi pada Temperatur 1200 °C (kiri)  
dan Penyusunan Briket pada *Muffle Furnace* (kanan)

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 17 Agustus 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Surabaya, SDN Kali Rungkut IV Surabaya, kemudian SMP Negeri 17 Surabaya dan MA Amanatul Ummah Program Akselerasi Pacet. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur Kemitraan dan Mandiri di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 terdaftar dengan NRP 2713100147. Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Metalurgi Ekstraksi. Penulis sejak kuliah aktif mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi dan di UKM Fotografi ITS. Mengikuti berbagai kepanitian di ITS dan sempat menjadi Project Officer of Young Engineering and Scientist SUMMIT ITS 2016. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD dan LKMM TD pernah diikuti oleh penulis. Penulis dapat dihubungi di 081499008765 atau email ke Rifqimahendraa@gmail.com



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*